



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SOFTWAREVĚ DEFINOVANÁ DOMÁCÍ AUTOMATIZACE

SOFTWARE DEFINED HOME AUTOMATION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Stupka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

BRNO 2016

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Dominik Stupka

ID: 146103

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Softwarově definovaná domácí automatizace

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte používané systémy domácí automatizace a inteligentních budov. Navrhněte blokovou koncepci alternativního systému, který umožní ovládat standardní prvky instalované v rodinných domech (zásuvky, světelné zdroje, HVAC, žaluziové systémy atd.). Jako hlavní řídicí prvek použijte modul se systémem Linux. Vyberte vhodná komunikační rozhraní.

Navrhněte obvodové zapojení a realizujte prototypy jednotlivých modulů domácí automatizace. Vytvořte firmware podružných modulů a software pro řídicí modul. Systém bude možné ovládat pomocí webového rozhraní a jednotlivé prvky budou maximálně softwarově rekonfigurovatelné pomocí relační SQL databáze. Ověřte funkci celého systému.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] GOODWIN, S. Smart Home Automation with Linux and Raspberry Pi. New York: Apress, 2013.

[2] ŠIMŮNEK, M. SQL - kompletní kapesní průvodce. Praha: Grada Publishing, 1999.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 19.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Aleš Povalač, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce popisuje vývoj a konstrukci systému pro automatizaci budov. V úvodu jsou popsány technologické části budov, ve kterých lze automatizaci využít, používané topologie instalace a běžně na trhu dostupné systémy.

Druhá kapitola se věnuje návrhu hardwarových prvků systému. Popisuje výběr řídicího modulu Raspberry Pi 3, mikroprocesoru pro komunikační modul a slave moduly. Dále se zabývá popisem komunikačních rozhraní a návrhem periférií systému.

Třetí a čtvrtá kapitola popisuje softwarové vybavení systému. Podrobně jsou popsány části firmwaru mikroprocesorů i způsob vytváření řídicí logiky a vizualizace v řídicím modulu. Poslední kapitola popisuje konstrukci testovacího modulu a měření parametrů systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

STM32, STM32F4, STM32F0, Raspberry Pi 3, Raspberry Pi 7“, automatizace budov, Ethernet, RS485, vizualizace, MySQL

ABSTRACT

This thesis is about development and construction of systems for building automation. At the beginning it's focused on usage of building automation. Short describe used topology of installation and available systems on the market.

The second chapter is about designing of hardware's elements systems. Then it's describing control unit Raspberry Pi 3, microprocessors for communication and slave modules. For my thesis I am also engaged in interface communication and designing of I/O systems.

The third and fourth chapter is describing software equipment's of the system. The parts of microprocessor firmware and manner of control logic creating and visualization in control unit module are described in details. Last chapter contains the description of construction of testing module and measuring of system parameters.

KEYWORDS

STM32, STM32F4, STM32F0, Raspberry Pi 3, Raspberry Pi 7“, building automation, Ethernet, RS485, visualization, MySQL

STUPKA, D. Softwarově definovaná domácí automatizace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Povalač, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Softwarově definovaná domácí automatizace jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Za pomoc a podporu při tvorbě této diplomové práce bych chtěl velmi poděkovat především mému vedoucímu diplomové práce, kterým je Ing. Aleš Povalač, Ph.D.. Díky němu se mi zdárně dařilo řešit technické i formální komplikace. Další poděkování patří mé rodině, která mi umožnila se během 25 let propracovat až k odevzdání diplomové práce na Vysokém učení technickém v Brně.

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře
vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)
operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

OBSAH

Seznam obrázků	xi
Seznam tabulek	xiii
Úvod	1
1 Úvod do automatizace budov	2
1.1 Oblasti využití.....	2
1.1.1 Vytápění, větrání, klimatizace (HVAC)	2
1.1.2 Řízení a regulace osvětlení	2
1.1.3 Zabezpečení	3
1.1.4 Venkovní prostory	3
1.1.5 Multimédia.....	3
1.2 Možné topologie instalace	3
1.2.1 Centralizovaný systém.....	3
1.2.2 Decentralizovaný systém	3
1.3 Systémy dostupné na trhu	4
1.3.1 Loxone	4
1.3.2 iNELS	4
1.3.3 ABB Egon-n®	4
2 Hardware	5
2.1 Automatizační server	5
2.2 Napájecí Zdroj	7
2.2.1 Zdroj 5 V.....	7
2.2.2 Zdroj 3,3V.....	10
2.2.3 Drátová síť RS485	10
2.3 Hlavní komunikační modul	13
2.4 Slave moduly	13
2.4.1 Procesorový modul	14
2.4.2 Digitální vstupy 24V.....	16
2.4.3 Digitální výstupy 24V.....	17

2.4.4	Vstupy 230V	18
2.4.5	Reléové výstupy.....	19
2.4.6	Termostat	20
2.5	Mechanická konstrukce	21
3	Firmware	22
3.1	Rozhraní RS485	22
3.2	Rozhraní Ethernet	23
3.3	Síťový protokol	24
3.4	Obsluha Digitálních vstupů a výstupů	26
3.5	Obsluha analogových vstupů	26
3.5.1	Nastavení AD převodníku	26
3.5.2	Měření teploty	27
3.5.3	Měření proudu.....	27
4	Software	30
4.1	Softwarové vybavení	30
4.2	Databáze MySQL	30
4.2.1	Práce s prvky v databázi	31
4.3	Vizualizace.....	32
4.3.1	Grafické uživatelské rozhraní	32
4.3.2	Přehledová stránka vizualizace	34
4.3.3	Instalace nových zařízení	36
4.3.4	Definice vztahů mezi zařízeními	36
4.4	TCP Server.....	37
5	Měření a ověření funkce systému	40
5.1	Elektrické vlastnosti slave modulů	41
5.1.1	Digitální vstupy 24 V.....	41
5.1.2	Digitální výstupy 24 V.....	41
5.1.3	Vstupy 230V	42
5.1.4	Reléové výstupy.....	42
5.2	Analýza síťové komunikace	42
6	Závěr	45
	Literatura	47

Seznam symbolů, veličin a zkratek	50
A Mikroprocesorový slave modul	51
A.1 Schéma zapojení	51
A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	52
A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	52
A.4 Osazovací plán – top (strana součástek)	53
A.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů).....	53
A.6 Seznam součástek	54
B reléový modul	55
B.1 Schéma zapojení	55
B.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	56
B.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	56
B.4 Osazovací plán – top (strana součástek)	57
B.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů).....	57
B.6 Seznam součástek	58
C Modul digitálních vstupů 24V	59
C.1 Obvodové zapojení	59
C.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	60
C.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	60
C.4 Osazovací plán – top (strana součástek)	61
C.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů).....	61
C.6 Seznam součástek	62
D Deska digitálních výstupů 24 V	63
D.1 Schéma zapojení	63
D.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	64
D.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	64
D.4 Osazovací plán – top (strana součástek)	65
D.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů).....	65
D.6 Seznam součástek	66
E Deska vstupů 230 V	67
E.1 Schéma zapojení	67
E.2 Deska plošného spoje– top (strana součástek).....	68

E.3	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	68
E.4	Osazovací plán desky – top (strana součástek).....	69
E.5	Osazovací plán desky – bottom (strana spojů)	69
E.6	Seznam součástek	70
F	Deska termostatu	71
F.1	Schéma zapojení	71
F.2	Deska plošného spoje – top (strana součástek).....	72
F.3	Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)	72
F.4	Osazovací plán – top (strana součástek)	72
F.5	Osazovací plán – bottom (strana spojů).....	73
F.6	Seznam součástek	74

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Rozšiřující konektor Raspberry PI 3 pro připojení externích obvodů.	6
Obrázek 2.2: Schéma zapojení spínaného zdroje 5V.	7
Obrázek 2.3 Schéma zapojení převodníku UART <=> RS485 s terminačním odporem[14].....	11
Obrázek 2.4 Zakončení sběrnice RS485.....	11
Obrázek 2.5 Nastavení klidového stavu sběrnice RS485.	12
Obrázek 2.6 Modelové situace vzniku zemních smyček.	12
Obrázek 2.7: Vývojová deska Nucleo-F492ZI.	13
Obrázek 2.8: Univerzální mikroprocesorová deska slave modulů.	14
Obrázek 2.9: Rozložení propojovacího konektoru mikroprocesorové a interface desky slave modulů.	15
Obrázek 2.10: Fotografie desky modulu vstupů 24V.	16
Obrázek 2.11: Schéma zapojení jednoho kanálu vstupu 24V.	16
Obrázek 2.12: Fotografie DPS modulů výstupů 24V.	17
Obrázek 2.13: Schéma zapojení jednoho kanálu digitálních výstupů 24V.	17
Obrázek 2.14: Fotografie DPS vstupů 230V.	18
Obrázek 2.15: Schéma zapojení jednoho kanálu vstupu 230V.	19
Obrázek 2.16: Fotografie DPS reléových výstupů.	19
Obrázek 2.17: Schéma zapojení měření proudu reléového výstupu.....	20
Obrázek 2.18: Fotografie DPS Termostatu.....	20
Obrázek 3.1: Vývojový diagram vlákna TCP_Client.	23
Obrázek 3.2: Formát síťového paketu, který odesílá master slave modulům.....	24
Obrázek 3.3: Instrukce komunikačního protokolu DomBus.	25
Obrázek 3.4: Tvar odpovědi slave modulu na požadavek master modulu.	25
Obrázek 3.5: Průběh výstupního napětí z obvodu ACS712 a délka vzorkovací periody.	28
Obrázek 4.1: Schéma vztahů mezi tabulkami databáze.....	31
Obrázek 4.2: Znázornění vztahů mezi tabulkami	32
Obrázek 4.3: Vzhled ovládacího prvku digitálního výstupu s měřením proudu a zobrazení stavu digitálních vstupů na zařízení s horizontálním rozlišením větším než 768 obrazových bodů.	33

Obrázek 4.4: Ovládací prvek pro nastavení termostatu	33
Obrázek 4.5: Vzhled ovládacího prvku digitálního výstupu a zobrazení stavu digitálních vstupů na zařízení s horizontálním rozlišením menším než 768 obrazových bodů.	34
Obrázek 4.6: Vstupní formulář pro přidání digitálního vstupu.	36
Obrázek 4.7: Formulář pro nastavení vztahu mezi digitálními vstupy a výstupy.	36
Obrázek 4.8: Vývojový diagram propojení vizualizace a serveru pomocí MySQL databáze.	38
Obrázek 5.1: Sestavený testovací panel systému.....	40
Obrázek 5.2: Záznam síťové komunikace na síti RS485 a Ethernet	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Hardwarové parametry Raspberry PI 3[6].....	5
Tabulka 2.2 Parametry Raspberry PI 7“ [7].....	7
Tabulka 2.3: Parametry požadovaného zdroje.....	8
Tabulka 2.4: Klíčové vlastnosti mikroprocesoru pro slave moduly	15
Tabulka 4.1: Hlavní softwarové komponenty pro tvorbu systému.....	30
Tabulka 4.2: Seznam tabulek v MySQL databázi.	30
Tabulka 4.3: Seznam souborů použitých pro tvorbu vizualizace.	32
Tabulka 4.4: Seznam funkcí TCP serveru.	37
Tabulka 5.1: Seznam použitých měřících přístrojů.	41
Tabulka 5.2: Elektrické parametry modulu Digitálních vstupů 24V	41
Tabulka 5.3: Elektrické parametry modulu Digitálních výstupů 24 V	41
Tabulka 5.4: Elektrické parametry modulu vstupů 230 V	42
Tabulka 5.5: Elektrické parametry modulu reléových výstupů.	42
Tabulka 5.6: Statistika komunikace mezi Raspberry Pi a komunikačním procesorem..	42

ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a konstrukcí jednoduchého systému pro dnes velmi populární technické odvětví, které se zabývá automatizací budov. Koncept systému cílí především na zařízení vhodné pro použití v rodinných domech a malých administrativních budovách.

Cílem práce je navrhnout základní koncept systému, který bude obsahovat vstupní i výstupní digitální moduly pro nízké napětí 24V DC i síťové napětí 230V AC a dále pak některé základní analogové moduly. Konstrukce modulů musí být modulární a umožňovat konstrukci různých typu slave modulů s různými rozměry na základě stále stejných obvodových bloků. Hlavní požadavky na mechanickou konstrukci jsou možnost umístění modulů do elektrického rozvaděče na DIN lištu a do nástěnných instalačních krabic KP68.

Důležitá část každého systému pro automatizaci budov je rozhraní, pomocí kterého je programována funkce systému. Cílem je navrhnout systém, který bude možné programovat z prostředí internetového prohlížeče i technicky nezkušeným uživatelem. Ovládat systém musí být možné pomocí hardwarových vstupních modulů ale především také pomocí přehledné vizualizace navržené opět pro prostředí internetového prohlížeče tak, aby bylo možné k vizualizaci přistupovat z jakékoliv dnes dostupné platformy operačního systému i procesorové architektury.

První kapitola dokumentu stručně shrnuje oblasti využití automatizace budov, dostupné koncepty a některé komerční produkty etablované na trhu. Druhá kapitola popisuje hardwarový návrh systému, výběr řídicího mikropočítače a mikroprocesorů pro moduly. Dále popisuje obvodová řešení slave modulů a mechanickou konstrukci. Třetí kapitola se zabývá rozбором vytvořeného firmwaru pro mikroprocesory a popisem jeho jednotlivých bloků. Čtvrtá kapitola popisuje zvolený koncept řízení celého systému a detailně představuje všechny části softwarového vybavení provozovaného na řídicím mikropočítači. Předposlední pátá kapitola se věnuje měření modulů a ověření jejich funkce, především je v kapitole proveden detailní rozbor komunikačních rozhraní. Poslední kapitola uvádí shrnutí dosažených výsledků a nastiňuje možnosti pokračování ve vývoji projektu.

1 ÚVOD DO AUTOMATIZACE BUDOV

V posledních 20 letech se začaly požadavky na elektroinstalaci v kancelářských budovách a domácnostech postupně měnit. Do klasických elektroinstalací se postupem času začaly dostávat jednoduché elektronické prvky, jako senzory pohybu pro ovládání osvětlení, časové spínače, systémy pro regulaci vytápění, ohřevu teplé vody a zabezpečovací systémy. Roztříštěnost těchto systémů a především vzájemná nekompatibilita má za následek zvyšování finančních nákladů pro nasazení těchto systémů a zabraňuje jejich efektivnímu využití. Tato situace postupně vedla ke vzniku nového technického odvětví, které čerpá jak ze zkušeností klasických elektroinstalací, tak z oblasti průmyslové automatizace a oborů s ní souvisejících. Nejčastěji je tato oblast nazývána jako „Automatizace budov“. Tato kapitola obsahuje shrnutí současně nabízených technických řešení.

1.1 Oblasti využití

Pomocí prvků automatizace budov lze ovládat široké spektrum parametrů budovy, v níž jsou instalovány. Hlavní síla těchto instalací je pak především ve sdílení informací z dříve samostatných systémů. Díky umístění dat například z meteorologické stanice do kontextu s požadavkem na vytápění je možné přesněji a efektivně regulovat systém vytápění.

1.1.1 Vytápění, větrání, klimatizace (HVAC)

Díky propojení všech senzorů a aktorů automatizované budovy je systém při vhodné konfiguraci schopen vytvářet v budově příjemné podmínky v jakémkoliv ročním období a klimatické situaci. Velkým benefitem využití těchto systémů je nezanedbatelná úspora energie potřebná k chlazení, nebo ohřevu budovy. Úspory je docíleno, například pokud zdroj tepla vykazuje velkou setrvačnost, typicky plynový kotel ohřívající užitkovou vodu. Pro regulaci teploty, na kterou má být voda nahřata je použit ekvitermní regulátor. Pokud má regulátor velké množství vstupních dat jako například: teplotní setrvačnost místnosti, venkovní teplota, teplota okolních místností, intenzita slunečního svitu a dalších. Je schopen pracovat se setrvačností zdroje tepla a nepřetápět tak zásobník teplé vody a tím neúměrně zvyšovat tepelné ztráty.

1.1.2 Řízení a regulace osvětlení

Regulace osvětlení je jedna ze základních schopností automatizačního systému pro budovy. Tato funkce bývá implementována v každé inteligentní instalaci. Obzvláště při využití moderních zdrojů světla je možné pružně reagovat na aktuální světelné podmínky a potřeby. Do systému je možné zahrnout časovače, stmívače, pohybové senzory, logické podmínky pro spínání světel, pracovat s plynule nastavitelnými lamelami žaluzií a řízení RGB led diod. Tyto vlastnosti mají zásadní vliv na uživatelský komfort a při vhodném nastavení systému je opět možné dosáhnout značné energetické úspory.

1.1.3 Zabezpečení

Do technologie inteligentních budov je možné integrovat také dříve samostatnou technologii a to zabezpečovací systém EZS. Díky propojení těchto systémů je možné po aktivaci alarmu v budově odpojit všechny spotřebiče, zhasnout svítící světla a podobně. Dále je možné sdílet pohybové senzory jak pro EZS, tak pro řízení osvětlení a využívat komunikačního rozhraní mezi uživatelem a budovou pro předávání informací o stavu zabezpečení objektu uživateli. Uživatel si tak může kdykoliv je-li na cestách ověřit, že je s jeho domácností vše v pořádku.

1.1.4 Venkovní prostory

Mezi čistě komfortní funkce inteligentních budov lze zařadit systém pro automatickou závlahu venkovních prostor. Díky informacím a množství spadených srážek, vlhkosti půdy, teplotě, slunečním svitu, může být venkovní dekorativní porost udržován v perfektní formě. Do komplexních instalací je také možné integrovat obsluhu automatické sekačky travního porostu.

1.1.5 Multimédia

Multimediální systém s centrálním zařízením pro přehrávání hudby, multimediálních streamů, TV a rádiových stanic může být ovládán centrálně. Při přesunu uživatele mezi místnostmi, tak může například samovolně přepínat výstupní reproduktory do míst, kde se právě uživatel nachází.

1.2 Možné topologie instalace

1.2.1 Centralizovaný systém

Tento koncept obsahuje jeden centrální řídicí prvek, k němuž se připojují aktory a senzory. Funkce celého systému je pak řízena z programu uloženého a zpracovávaného právě v centrální řídicí jednotce. Při využití centralizované topologie se používá většinou komunikace po sběrnici s komunikačním schématem Master – Slave, řídicí jednotka se periodicky dotazuje senzorů na stav a podle toho vykonává akce nastavené pro aktory.

Tento typ systému je vhodný především pro menší objekty, jako jsou rodinné domy. Hlavními výhodami tohoto řešení jsou nižší cena aktorů i senzorů (menší nároky na jejich inteligenci) a jednodušší síťový protokol.

Nevýhodou je pak závislost systému na centrální jednotce tedy při jejím výpadku dojde k ochromení celého systému.

Typickým příkladem takového systému jsou výrobky firmy Loxone [1].

1.2.2 Decentralizovaný systém

Pro větší instalace je vhodné použít odlišný přístup, než bylo popsáno v předchozí

kapitole. Centrální prvek může být odstraněn a komunikace probíhá přímo mezi senzory a aktory. Všechny prvky jsou spojeny do jedné sběrnice, po které si vyměňují informace. Komplikací takovéto instalace je nutnost zavést antikolizní komunikační protokol a vybavit každý prvek sítě vlastní inteligencí, díky které je schopný samostatné činnosti. Zásadní výhodou je pak ona decentralizace systému. Například při instalaci v kancelářském objektu mohou prvky sítě v jednotlivých kancelářích tvořit v podstatě samostatnou jednotku a při poruše v jedné části systému zbytek funguje dále. Vizualizace v těchto systémech je běžně realizována „odchyťáváním“ síťových paketů pro zobrazení stavu systému.

Nejtypičtějším zástupcem této topologie je systém postavený na standardu KNX[2]. Předním dodavatelem těchto instalací je společnost ABB.

1.3 Systémy dostupné na trhu

1.3.1 Loxone

Systém rakouské společnosti Loxone [1] je primárně určen pro instalace menšího rozsahu jako je například rodinný dům. Systém využívá vlastní sběrniceový systém „Loxone bus“ a síťovou topologii s jedním centrálním prvkem tedy master - slave. V terminologii společnosti Loxone je nazývaný „Loxone Miniserver“. Miniserver integruje několik základních vstupů/výstupů; a především obsahuje veškerou inteligenci systému. Rozsah instalace je možné jednoduše měnit přidáním modulů „Extension“. Rozšiřující modul obsahuje další sadu digitálních i analogových vstupů/výstupů.

Systém Loxone nabízí základní periferie v podobě vypínačů, teplotních čidel, termostatických hlavice a podobně. Pomocí převodníků sběrnic s různými rozhraními jako EnOcean, 1-Wire, IR, Modbus, RS232, RS485 umožňuje Loxone do systému integrovat velké množství příslušenství jiných výrobců.

1.3.2 iNELS

Systém iNELS [3] je výrobek české společnosti ELKO EP, využívá stejně jako Loxone vlastní sběrniceový systém „CIB“ a centralizovanou strukturu typu master-slave. Zaměření systému je opět na menší instalace.

Systém nabízí velké množství příslušenství, grafické dotykové ovladače, vlastní řešení bezdrátových ovladačů a velmi propracovaný multimediální systém „Laura“.

1.3.3 ABB Egon-n®

ABB dominuje trhu inteligentních instalací se svým systémem ABB i-bus® KNX [4] který je určený především pro kancelářské budovy a rozsáhlé stavby. Pro menší instalace ABB dodává systémem Ego-n® [5]. Systém využívá stejnou síťovou topologii jako předchozí dva systémy. Systém má opět vlastní sběrnici, ovšem oproti předchozím příkladům je čtyř-vodičová. Dva vodiče slouží pro datovou komunikaci a dva pro napájení modulů na sběrnici. Výhodou systému je možnost programovat jednoduché funkce přímo na modulech.

2 HARDWARE

Tato kapitola popisuje návrh a konstrukci hardwaru potřebného pro běh systému. V podkapitolách je popsán výběr hardwaru pro automatizační server a návrh obvodů společných pro všechny moduly, jako jsou zdroje a komunikační obvody. Především pak modul s komunikačním procesorem a 5 typů slave modulů. Všechna navržená schémata a motivy desek plošných spojů z této kapitoly jsou uvedeny mezi přílohami A až F.

2.1 Automatizační server

Webový server a automatizační logika vyžaduje pro běh interpreter jazyka PHP, Apache server a databázový MySQL server. Toto jsou standardní softwarové prostředky potřebné pro běh webového serveru. Z tohoto důvodu jejich porty existují na všechny rozšířené platformy, což ze systému dělá na platformě nezávislý systém. Vytvořený software popisovaný v kapitole 4 lze provozovat na jakémkoliv běžném PC s operačním systémem Windows či Linux a procesorem typu x86 nebo ARM. Pro server byl zvolený „mini“ počítač Raspberry Pi 3[6] s procesorem ARM Cortex-A53, který disponuje 64-bitovou architekturou a jeho jednotlivá jádra jsou taktována na 1,2GHz. Tabulka 2.1 představuje parametry Raspberry Pi 3.

Tabulka 2.1 Hardwarové parametry Raspberry Pi 3[6].

CPU	4 jádrový ARM A7 1,2 GHz
RAM	1 GB
Ethernet	10/100 Mb
USB	4 x USB 2.0
Napájení	5V, 2 A
Rozměry	85x56x17 mm

Raspberry Pi 3 disponuje rozšiřujícím konektorem pro připojení externích obvodů. Díky dostupným knihovnám je možné všechny GPIO a rozhraní sběrnic jednoduše ovládat ze softwaru Raspberry Pi 3, například pomocí jazyka Python, C/C++. Pro automatizační server je důležité, že je k HW rozhraní Raspberry Pi 3 možné přistupovat i z webového jazyka PHP. Obrázek 2.1 zobrazuje rozložení rozšiřujícího konektoru.

Pin#	NAME		NAME	Pin#
01	3.3v DC Power		DC Power 5v	02
03	GPIO02 (SDA1 , I ² C)		DC Power 5v	04
05	GPIO03 (SCL1 , I ² C)		Ground	06
07	GPIO04 (GPIO_GCLK)		(TXD0) GPIO14	08
09	Ground		(RXD0) GPIO15	10
11	GPIO17 (GPIO_GEN0)		(GPIO_GEN1) GPIO18	12
13	GPIO27 (GPIO_GEN2)		Ground	14
15	GPIO22 (GPIO_GEN3)		(GPIO_GEN4) GPIO23	16
17	3.3v DC Power		(GPIO_GEN5) GPIO24	18
19	GPIO10 (SPI_MOSI)		Ground	20
21	GPIO09 (SPI_MISO)		(GPIO_GEN6) GPIO25	22
23	GPIO11 (SPI_CLK)		(SPI_CE0_N) GPIO08	24
25	Ground		(SPI_CE1_N) GPIO07	26
27	ID_SD (I ² C ID EEPROM)		(I ² C ID EEPROM) ID_SC	28
29	GPIO05		Ground	30
31	GPIO06		GPIO12	32
33	GPIO13		Ground	34
35	GPIO19		GPIO16	36
37	GPIO26		GPIO20	38
39	Ground		GPIO21	40

Obrázek 2.1 Rozšiřující konektor Raspberry Pi 3 pro připojení externích obvodů.

Z Obrázek 2.1 je patrné, které rozhraní jsou dostupná na Raspberry Pi 3:

- 26x univerzální vstupy/výstupy;
- I²C sběrnice;
- SPI sběrnice;
- UART.

Navržený systém vyžaduje pro komunikaci se sítí slave modulů minimálně jeden port UART pro připojení převodníku na sběrnici RS485 a jeden digitální výstup pro řízení směru komunikace na sběrnici RS485. Standardní převodníky mají výstupní budiče, které jsou schopny obsluhovat síť 32 zařízení, některé výkonnější pak až 64 zařízení. Poté už je impedance sítě příliš nízká a budiče nejsou schopny dodávat dostatečný proud. To je jeden z důvodů proč není Raspberry Pi využito jako prostředek pro přímou komunikaci se sítí slave zařízení. Pro budoucí rozšíření sítě o více slave zařízení je lepší použít jako komunikační prvek zařízení s více UART porty pro rozdělení sítě do více linií. Raspberry Pi nabízí rozhraní Ethernet a aktuální verze Raspberry Pi model 3, který je použit v této práci i integrovaný WI-FI modul. S komunikačním mikroprocesorem je možné komunikovat skrze rozhraní Ethernet. K jednomu automatizačnímu serveru je tedy možné připojit více komunikačních mikroprocesorů. Systém tedy umožňuje velkou míru škálovatelnosti. Potencionálně je tedy možné provozovat síť o stovkách zařízení.

Pro obsluhu systému je možné mimo webové rozhraní na běžném PC, tabletu či mobilu použít displej Raspberry Pi 7“[7]. Tabulka 2.2 shrnuje parametry displeje.

Tabulka 2.2 Parametry Raspberry Pi 7" [7].

Uhlopříčka	7"
Rozlišení	800 x 480 px
Pozorovací úhly	70°/70°
Rozměry	194 x 110 x 20 mm
Dotyková vrstva	kapacitní, multidotyková
Komunikační rozhraní	DSI
Napájení	5V, 450 mA

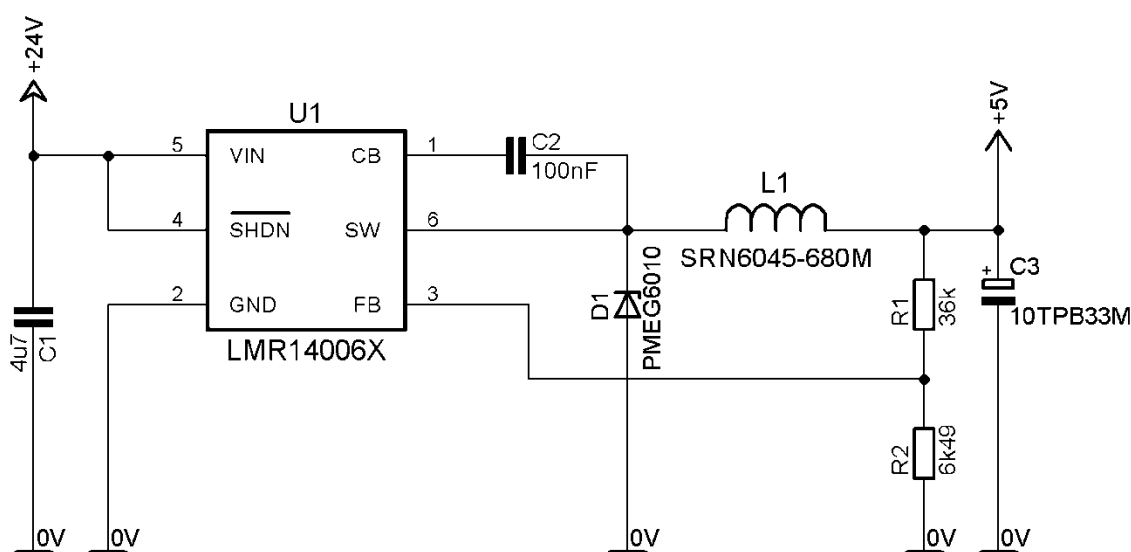
Displej je přímo připojen k Raspberry Pi pomocí proprietárního rozhraní DSI. Obrazovka je dotyková s kapacitní vrstvou. Celá sestava displeje i Raspberry Pi 3 je hluboká pouze 30 mm umožňuje tak instalaci do podmínkové krabice a může sloužit jako centrální ovládací bod systému.

2.2 Napájecí Zdroj

Jako standartní napájecí napětí pro automatizační prvky v rozvaděčových skříních se používá napětí 24V DC. Moduly jsou tedy uzpůsobeny právě pro toto vstupní napětí. Integrované obvody v modulech používají napájecí napětí 5 V a 3,3 V. Následující dvě kapitoly popisují návrh snižujících zdrojů z napětí 24 V na 5 V a 3,3 V.

2.2.1 Zdroj 5 V

Maximální uvažovaný proudový odběr 5 V větve v modulech je 500 mA, proto je jako stabilizátor použit spínaný snižující měnič s obvodem LMR14006X[8] pracující se spínacím kmitočtem 1,1 MHz. Hodnoty součástek pro zapojení zdroje z Obrázek 2.2 lze vypočítat pomocí vztahů 2.1 až 2.8.



Obrázek 2.2: Schéma zapojení spínaného zdroje 5V.

V Tabulka 2.3 jsou shrnuty základní požadavky, na něž byl kladen důraz při návrhu spínaného zdroje.

Tabulka 2.3: Parametry požadovaného zdroje.

Vstupní napětí	24 - 30	[V]
Výstupní napětí	5	[V]
Maximální výstupní proud	500	[mA]
Minimální výstupní proud	5	[mA]
Zvlnění výstupního napětí	1	[%]
Spínací frekvence	1.1	[MHz]

Zásadními obvodovými prvky pro správnou funkci zdroje jsou výstupní tlumivka a kondenzátor. Při znalosti požadovaných vlastností zdroje může být indukčnost tlumivky vypočítána pomocí vztahu:

$$L_o = \frac{V_{in} - V_{OUT}}{I_o \times K_{IND}} \times \frac{V_{OUT}}{V_{in} \times f_{SW}} = \frac{30 - 5}{0,5 \times 0,5 \times 0,3} \times \frac{5}{30 \times 1.1 \times 10^6} = 50 \mu H \quad (2.1)$$

kde L_{omin} je minimální indukčnost výstupní cívky, V_{in} je maximální předpokládané vstupní napětí, V_{out} je požadované výstupní napětí, I_o požadovaný výstupní proud, K_{IND} je koeficient představující velikost zvlněného proudu vůči maximálnímu výstupnímu proudu a f_{sw} je spínací frekvence výstupního tranzistoru.

Nejbližší vyšší běžně dostupná hodnota indukčnosti cívky je 68 μH , proto je dále počítáno s touto hodnotou.

Velikost zvlněného proudu protékající cívkou při zvolené indukčnosti lze vypočítat ze vztahu:

$$I_{L-ripple} = \frac{V_{out} \times (V_{in max} - V_{out})}{V_{in max} \times L_o \times f_{SW}} = \frac{5 \times (30 - 5)}{30 \times 68 \times 10^{-6} \times 1.1 \times 10^6} = 56 mA \quad (2.2)$$

Kde V_{out} je výstupní napětí, $V_{in max}$ je maximální vstupní napětí, L_o je indukčnost výstupní cívky a f_{sw} je spínací frekvence výstupního tranzistoru.

Pro výpočet efektivní hodnoty proudu, na který musí být cívka dimenzovaná, slouží vztah:

$$I_{L-RMS} = \sqrt{I_o^2 + \frac{1}{12} \times I_{ripple}^2} = \sqrt{0,5^2 + \frac{1}{12} \times 0,056^2} = 500 mA \quad (2.3)$$

kde I_o je požadovaný výstupní proud a I_{ripple} je zvlnění proudu.

Špičková hodnota proudu, na který musí být cívka dimenzována, se vypočte ze vztahu:

$$I_{L-PEAK} = I_O + \frac{I_{ripple}}{2} = 0,5 + \frac{0,056}{2} = 780 \text{ mA} \quad (2.4)$$

kde I_O je požadovaný výstupní proud a I_{ripple} je zvlnění proudu. Na základě vypočtených parametrů byla pro zapojení vybrána cívka Bourns SRN6045-680M[9].

Stabilizátor LMR14006X potřebuje pro reakci na změnu velikosti zátěže 2 hodinové cykly. Pro pokrytí doby těchto dvou cyklů, než stabilizátor změní střidu spínání výstupního tranzistoru, je potřeba dimenzovat výstupní kondenzátor. Jeho minimální hodnotu je možné vypočítat ze vztahu:

$$C_{out} > \frac{2 \times \Delta I_{out}}{f_{SW} \times \Delta V_{out}} > \frac{2 \times (0,5 - 0,005)}{1,1 \times 10^6 \times (0,03 \times 5)} > 6 \mu F \quad (2.5)$$

kde C_{out} je kapacita kondenzátoru, ΔI_{out} je rozdíl maximálního a minimálního výstupního proudu, f_{SW} je spínací frekvence výstupního tranzistoru a ΔV_{out} je maximální hodnota přípustného zvlnění výstupního napětí.

Při prudkém poklesu zátěže může energie nahromaděná v tlumivce způsobit napětovou špičku a hodnota napětí tak může překročit tolerovanou mez. Kapacita výstupního kondenzátoru musí být dostatečná, aby byl tuto energii schopný absorbovat. Minimální hodnotu je možné vypočítat ze vztahu:

$$C_{out} > L_o \times \frac{(I_{oh}^2 - I_{ol}^2)}{(V_f^2 - V_i^2)} > 50 \times 10^{-6} \times \frac{(0,5^2 - 0,005^2)}{((1,03 \times 5)^2 - 5^2)} > 11,2 \mu F \quad (2.6)$$

Kde C_{out} je kapacita kondenzátoru, L_o je indukčnost cívky, I_{oh} je výstupní proud při maximální zátěži, I_{ol} je výstupní proud při minimální zátěži, V_f je špičkové výstupní napětí, V_i je počáteční napětí na kondenzátoru.

Pro výpočet minimální kapacity výstupního kondenzátoru pro udržení požadovaného zvlnění výstupního napětí slouží vztah:

$$C_{out} > \frac{1}{8 \times f_{SW}} \times \frac{1}{\frac{V_{o_ripple}}{I_{L_ripple}}} = \frac{1}{8 \times 1,1 \times 10^6} \times \frac{1}{\frac{5 \times 0,01}{0,056}} > 1,27 \mu F \quad (2.7)$$

Kde C_{out} je kapacita kondenzátoru, f_{SW} je spínací frekvence výstupního tranzistoru, V_{o_ripple} je zvlnění výstupního napětí a I_{L_ripple} je zvlnění výstupního proudu.

$$R_{ESR} < \frac{V_{o_ripple}}{I_{L_ripple}} = \frac{5 \times 0,01}{0,056} < 0,89 \Omega \quad (2.7)$$

kde R_{ESR} je ekvivalentní sériový odpor kondenzátoru, V_{o_ripple} je zvlnění výstupního napětí a I_{L_ripple} je zvlnění výstupního proudu.

Na základě těchto vypočtených parametrů byl zvolen kondenzátor Panasonic 10TPB33M[10] s kapacitou 33 μ F na napětí 10 V a s ESR 200 m Ω .

Výstupní dioda musí být na napětí o 25% větší než maximální vstupní napětí. Maximální proud diody je vhodné zvolit stejný jako výstupní proud zdroje. Těmto požadavkům odpovídá dioda NXP PMEG6010CEH[11].

Vstupní kondenzátor slouží k zamezení zvlnění vstupního napětí, vhodný kondenzátor je 4,7 μ F na 50 V.

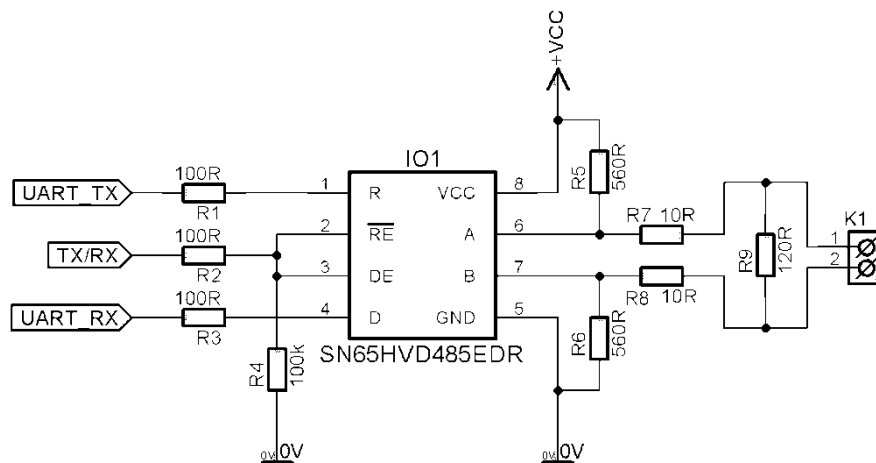
2.2.2 Zdroj 3,3V

Pro napájení mikroprocesorů a dalších digitálních obvodů musí být na modulech zdroj 3,3 V s výstupním proudem alespoň 100 mA. Jako vstupní napětí bude sloužit spínaný zdroj z kapitoly 2.2.1 s výstupním napětím 5 V. Výkonová ztráta na stabilizátoru tak bude přibližně 20 mW. Při tak malém rozdílu vstupního a výstupního napětí a malém odebíraném proudu je možné použít lineární stabilizátor. Vhodnou volbou je tedy lineární stabilizátor LD1117[12] 3V3.

2.2.3 Drátová síť RS485

Hlavní komunikační rozhraní navrhovaného systému je drátová sběrnice s uspořádáním Master – Slave a sběrniceovou topologií. Nejvhodnější standardizovaná sběrnice splňující tyto parametry je sběrnice RS485 [13]. V základní konfiguraci se jedná o dvou vodičovou sběrnici vycházející ze standardu RS232. RS485 se oproti RS232 liší v reprezentaci digitálních signálů na sběrnici. Logické stavy na sběrnici RS485 jsou reprezentovány rozdílem napětí mezi vodiči označovanými jako „A“ a „B“ u některých výrobců jako „+“ a „-“. RS485 je poloduplexní sběrnice na rozdíl od RS232, která je plně duplexní.

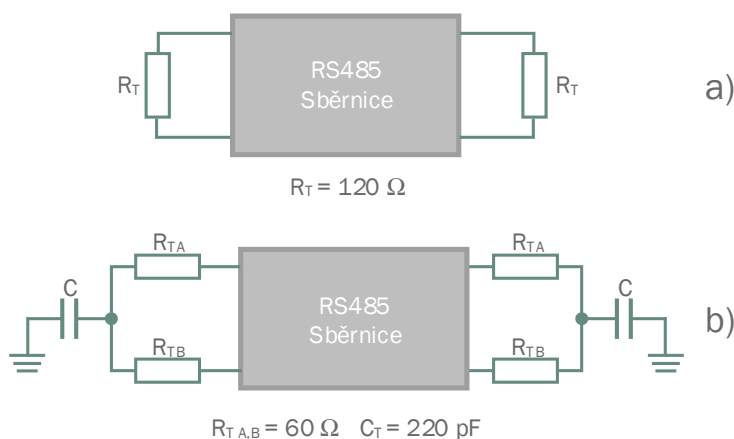
Standardem definované minimální diferenční napětí na výstupu budiče je 1,5 V při zátěži 54 Ω , přijímač musí být schopný detekovat diferenční napětí o hodnotě 200 mV. Díky této vlastnosti je linka schopná přenášet data i při velké degradaci signálu vlivem délky vedení a přechodovém odporu na konektorech. V klidovém stavu by na vodiči A (+) mělo být vyšší napětí než na vodiči B (-). Délka linky je až 1200 m při komunikační rychlosti 10 kbps. Standardem definované maximální množství zařízení na sběrnici je 32. Některé budiče s výstupem schopným budit sběrnici větším proudem umožňují připojit až 64 zařízení. Běžné mikroprocesory nedisponují přímo rozhraním RS485. Využívá se ale velké podobnosti s RS232, díky čemuž je možné použít převodník z rozhraní UART. Obrázek 2.3 představuje typické zapojení převodníku UART < = > RS485. Převodník použitý v této práci je integrovaný obvod SN65HVD485EDR[14].



Obrázek 2.3 Schéma zapojení převodníku UART \Leftrightarrow RS485 s terminačním odporem[14].

Pro spolehlivý přenos dat na lince RS485 je nutné dodržet několik důležitých návrhových zásad.

Aby bylo zabráněno odrazům signálu na lince, je nutné, aby odbočky z přímé linky byly co nejkratší a konce kabelu byly ukončeny terminačním odporem. Pro komunikaci je vhodné použít kabel s charakteristickou impedancí $Z_0 = 120 \Omega$, potom by linka měla být zakončena rezistorem $R = 120 \Omega$ na každém konci. Schéma tohoto zapojení je na Obrázek 2.4 a). V silně rušeném prostředí je možné použít jako zakončení filtr typu dolní propust a nahradit rezistor $R = 120 \Omega$ dvěma sériově spojenými rezistory $R_A, B = 60 \Omega$ a kondenzátorem $C = 220 \text{ pF}$. Schéma zapojení je na Obrázek 2.4 b).

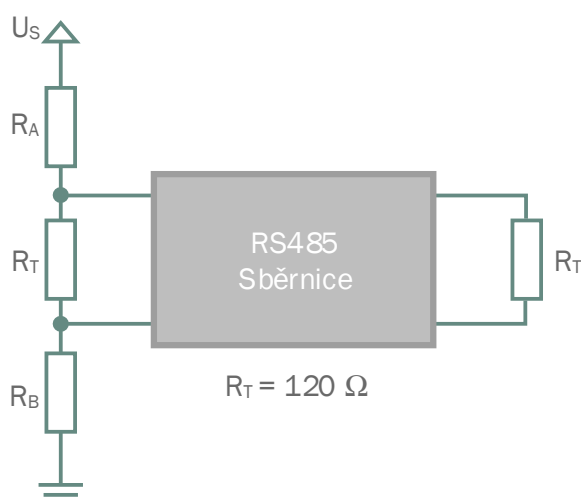


Obrázek 2.4 Zakončení sběrnice RS485

Pokud je na sběrnici datový klid, může se dostat do nedefinovaného stavu. Příjímač je podle standardu schopný přijmout signál při diferenčním napětí minimálně 200mV. Proto je nutné zajistit na sběrnici v klidovém stavu definovaný stav tak, aby případný šum nezpůsobil příjem náhodných signálů. Nejjednodušší řešení tohoto problému je pomocí odporového děliče na sběrnici vytvořit v klidovém stavu jasně definované napěťové úrovně. Hodnoty rezistorů děliče je možné vypočítat ze vztahu (1)

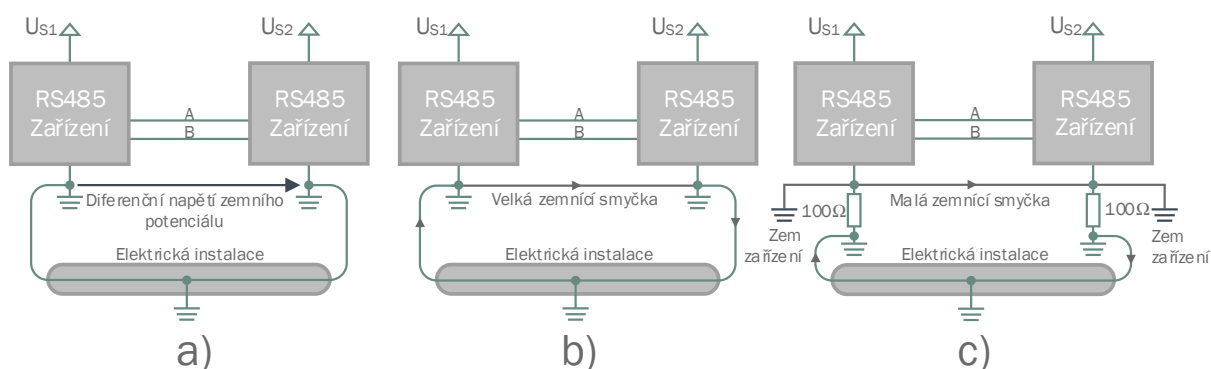
$$R_{AB} = \left(\frac{U_{Smin}}{U_{AB}} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{R_{BL}} \cdot \frac{4}{Z_0}} = \left(\frac{4.75}{0.25} + 1 \right) \cdot \frac{1}{\frac{1}{375} \cdot \frac{4}{120}} = 556 \, \Omega \quad (2.8)$$

Kde U_{Smin} je nejnižší přípustná hodnota napětí zdroje, U_{AB} nejnižší přípustná hodnota diferenčního napětí na sběrnici, R_{BL} je standardem RS485 definovaná hodnota maximálního zatížení linky a Z_0 je charakteristická impedance vedení. Schéma zapojení linky s nastavením klidového stavu je na Obrázek 2.5.



Obrázek 2.5 Nastavení klidového stavu sběrnice RS485.

Komunikační uzly na sběrnici RS485 jsou v běžné instalaci napájeni ze zdrojů napětí na různých potencionálech. Důležitou podmínkou funkční komunikace na velké vzdálenosti je zabránění vzniku zemních smyček a velkých rozdílů mezi zemními potencionály. V praxi může vzniknout několik modelových situací z Obrázek 2.6.

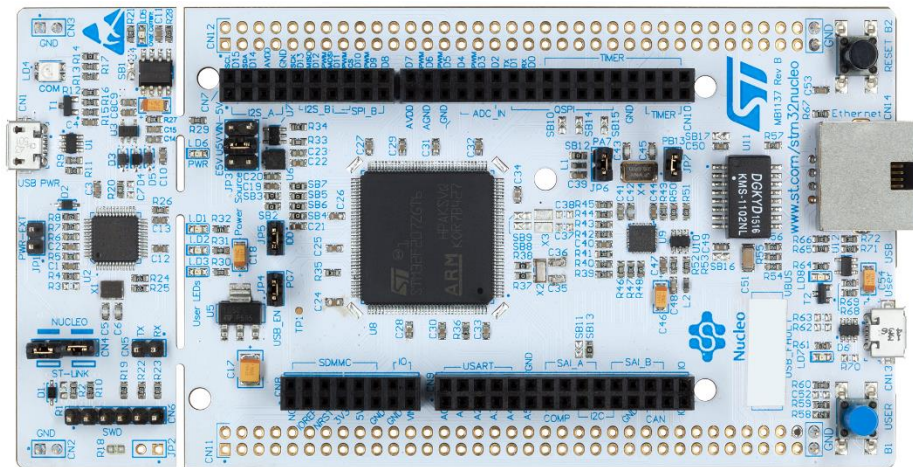


Obrázek 2.6 Modelové situace vzniku zemních smyček.

Pokud není možné použít galvanicky oddělené budiče sběrnice, je alespoň vhodné propojit zemní body zařízení a společný zemní bod sítě přes rezistor $R = 100 \, \Omega$ tak, jako je to provedeno na Obrázek 2.6 c).

2.3 Hlavní komunikační modul

Komunikace s automatizačním serverem je zajištěna skrze rozhraní Ethernet. Komunikační procesor musí tedy toto rozhraní obsahovat. Dále je nutné, aby procesor měl k dispozici minimálně jedno rozhraní UART. Pro budoucí rozšíření o více síťových linií je vhodné, aby měl procesor více UART rozhraní. Z nabídky procesorů STM32F4 byl pro práci vybrán procesor STM32F429[15], který obsahuje všechny potřebné rozhraní a má dostatečně velkou paměť pro operační systém FreeRTOS[16] a TCP/IP lwIP stack[17] zajišťující Ethernetovou komunikaci. Procesor je k dispozici na vývojové desce Nucleo-F429ZI[18], která byla pro práci použita jako základní hardware komunikačního modulu. Fotografie desky je na Obrázek 2.7.



Obrázek 2.7: Vývojová deska Nucleo-F429ZI.

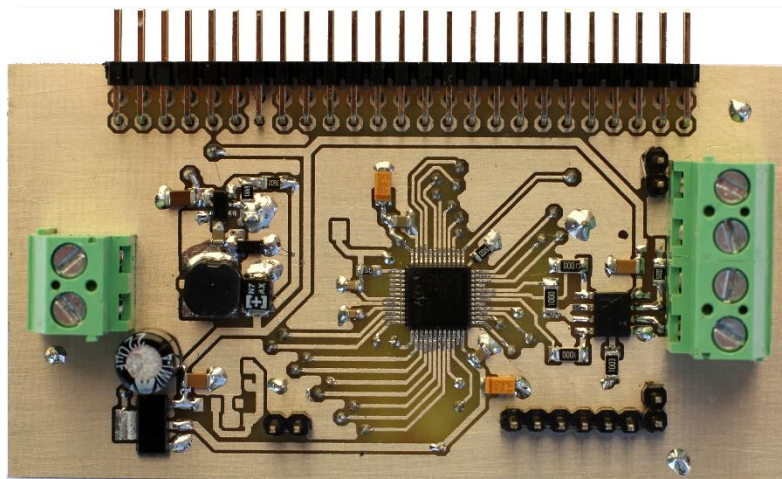
Deska obsahuje veškerý potřebný hardware pro Ethernet komunikaci jako je PHY LAN8742A[19] a oddělovací transformátor rozhraní Ethernet KMS-1102NL. Pro spojení s externími obvody deska obsahuje ST Morpho 144 konektor pro přístup ke všem pinům mikroprocesoru. Pro desku byl vytvořen shield obsahující 5V zdroj, popsáný v kapitole 2.2.1. Zdroj 3,3V již deska obsahuje. Pro komunikaci po sběrnici se slave moduly byl na desku doplněn převodník z kapitoly 2.2.3. Deska je doplněna o držák na rozvaděčovou DIN lištu.

2.4 Slave moduly

Důležitou částí celého systému jsou Slave moduly. Tyto moduly obstarávají interakci s externími spotřebiči, snímači a dalšími prvky automatizovaného domu. Slave moduly byly navrženy modulárně, každý modul se vždy skládá z procesorové desky a samotné vstupní/výstupní desky neboli interface desky.

2.4.1 Procesorový modul

Tato deska obsahuje komunikační rozhraní RS485, napájecí zdroje 5 V a 3,3 V, mikroprocesor a konektor pro připojení rozhraní slave modulu. Rozhraní RS485 je popsáno v kapitole 2.2.3, zdroj 5V v kapitole 2.2.1 a zdroj 3,3V v kapitole 2.2.2.



Obrázek 2.8: Univerzální mikroprocesorová deska slave modulů.

Na mikroprocesor komunikačního rozhraní je kladeno několik základních požadavků. Jsou to:

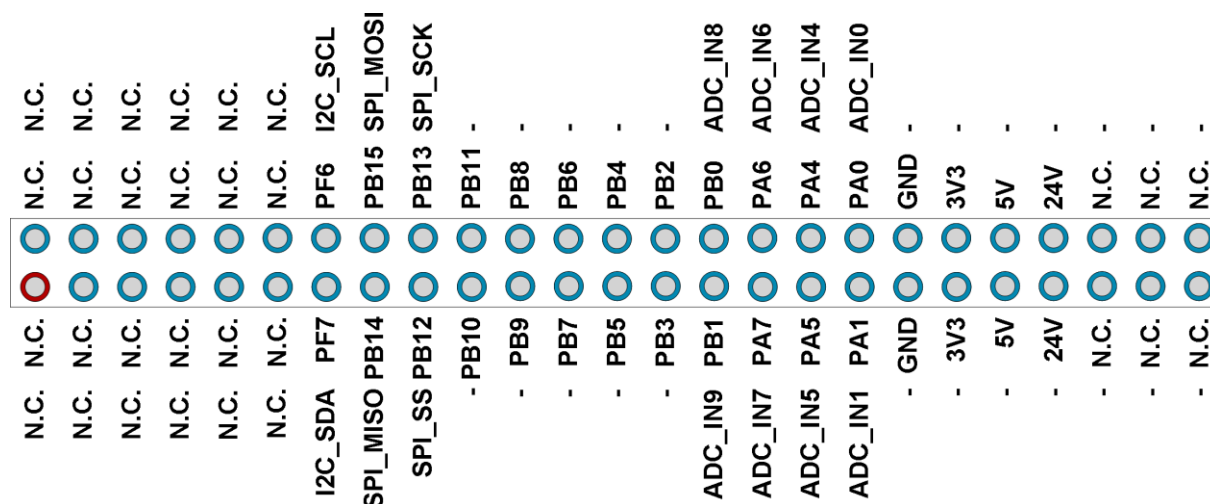
- velikost paměti flash alespoň 32 kB
- vstupně výstupní linky pro řízení rozhraní slave modulů
- UART pro připojení převodníku na RS485
- AD převodník pro realizaci analogových vstupů
- existence vývojového kitu s tímto mikroprocesorem pro snadnější vývoj.

Všem těmto požadavkům odpovídá mikroprocesor STM32F051R8C6[20]. Tabulka 2.4 shrnuje hlavní rysy mikroprocesoru, které jsou klíčové pro použití jako řídicího mikroprocesoru pro slave moduly.

Tabulka 2.4: Klíčové vlastnosti mikroprocesoru pro slave moduly

Napájecí napětí	2,0 - 3,6 V
Paměť Flash	64 kB
Paměť SRAM	8 kB
Interní krystal	8MHz
DMA kontrolér	5 kanálů
I/O	39x (LQFP 48)
ADC převodník	12-bit 9 kanálů
DAC převodník	12-bit 1kanál
I2C	2x
SPI	2x
USAR	2x

Mikroprocesorová deska obsahuje konektor pro připojení interface desky obsahující obvody pro realizaci jednotlivých typu slave zařízení. Zapojení konektoru je na Obrázek 2.9.



Obrázek 2.9: Rozložení propojovacího konektoru mikroprocesorové a interface desky slave modulů.

Na konektoru je dostupných 24 I/O. Pokud interface deska obsahuje obvody vyžadující jiné rozhraní, je možné na úkor dostupných I/O softwarově zpřístupnit na konektoru:

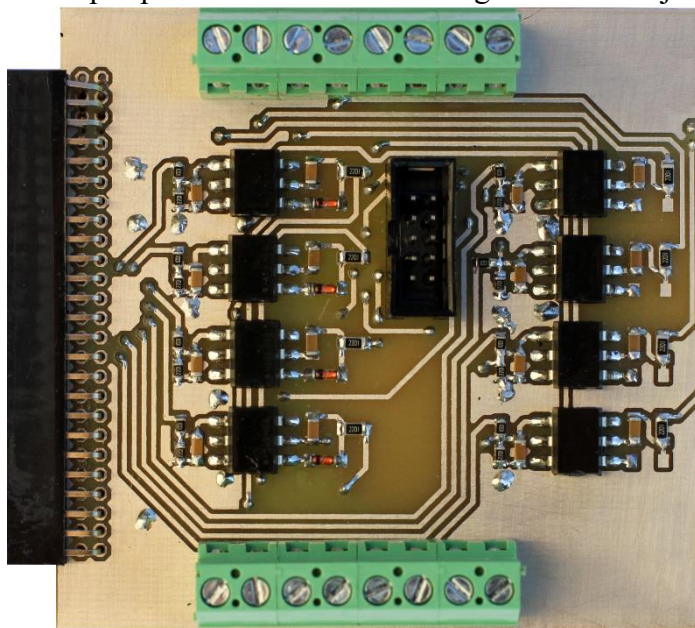
- 1x I2C
- 1x SPI
- 8x ADC
- 1x DAC

Toto řešení umožňuje využívat stále stejnou mikroprocesorovou desku pro různé typy slave modulů. Pro vývojové a diagnostické účely jsou na desce vyvedeny piny UARTu 2, který slouží jako debuggovací rozhraní. Pro programování jsou vyvedeny piny

rozhraní SWD . Při požadavku na vysokou přesnost AD/DA převodníku je možné na desku osadit externí napěťovou referenci a připojit ji na kanál 8 AD převodníku pro softwarovou kompenzaci měřených hodnot.

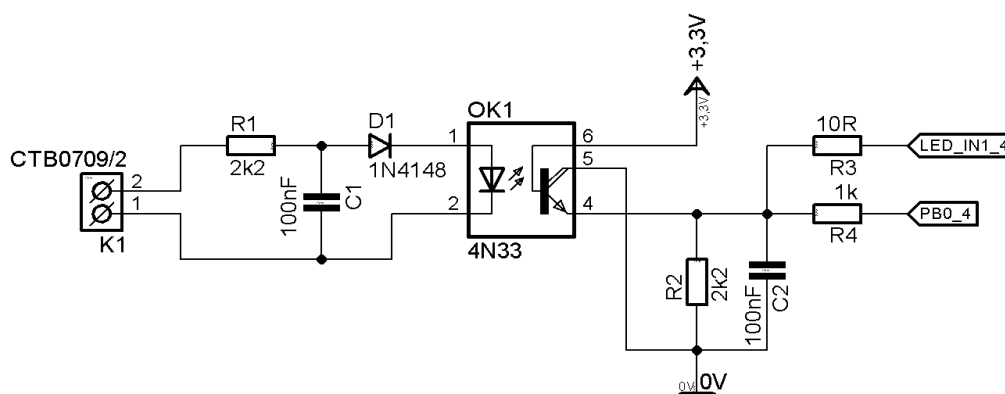
2.4.2 Digitální vstupy 24V

Interface modul pro vstupy 24V obsahuje 8 galvanicky oddělených vstupů, každý se samostatnou svorkou pro potenciál 24V i zem. Fotografie modulu je na Obrázek 2.10



Obrázek 2.10: Fotografie desky modulu vstupů 24V.

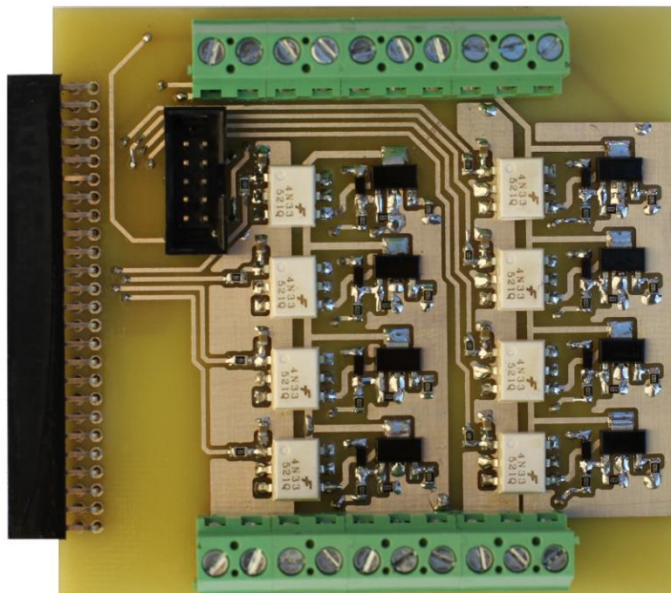
Schéma zapojení jednoho kanálu vstupu 24 V je na Obrázek 2.11. Vstupy jsou galvanicky odděleny optočlenem 4N33[21] se vstupním odporem 2k Ω a sériovou diodou pro ochranu před přepólováním diody v optočlenu. Výstupní obvod optočlenu obsahuje rezistor R2 = 2,2 k Ω pro nastavení minimálního proudu, filtrační kondenzátor C2 = 100 nF, sériový odpor R4 = 1 k Ω pro ochranu vstupního portu mikroprocesoru a předřadný odpor led diody R3.



Obrázek 2.11: Schéma zapojení jednoho kanálu vstupu 24V.

2.4.3 Digitální výstupy 24V

Modul digitálních výstupů obsahuje 8 galvanicky oddělených výstupů. Fotografie desky je na Obrázek 2.12.

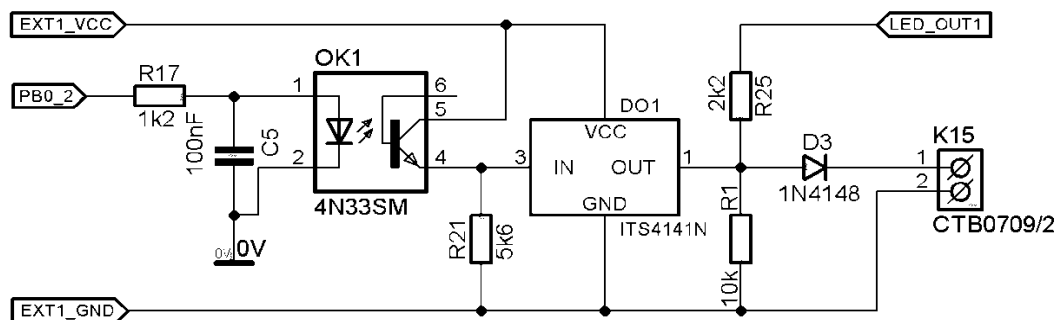


Obrázek 2.12: Fotografie DPS modulů výstupů 24V.

Sestavení obvodu digitálního výstupu se základními vlastnostmi

- Výstupní proud 500 mA
- Proudové omezení
- Ochrana proti zkratu
- Ochrana proti přepětí
- Teplotní pojistka

pomocí diskretních obvodových prvků není z pohledu ceny ani náročnosti na prostor na DPS výhodné. V konstrukci je proto použit integrovaný obvod výrobce Infineon ITS4141N[22]. Na Obrázek 2.13 je zapojení výstupu 24 V pro jeden kanál.

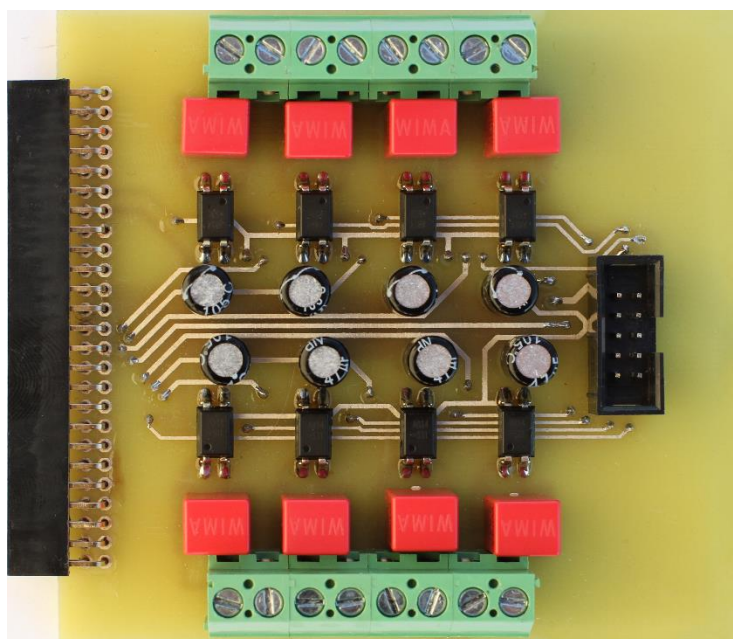


Obrázek 2.13: Schéma zapojení jednoho kanálu digitálních výstupů 24V.

Vstupní obvod ITS4141 je spínaný optočlenem 4N33SM. Pro správnou funkci obvodu je nutné zajistit minimální výstupní proud, což zajišťuje odpor R1. Obvody ITS4141N dovolují paralelní spojování více výstupů pro zvýšení výstupního proudu. Těmito obvody je možné spínat všechny typy zátěží - rezistivní, kapacitní i induktivní. Modul je rozdělen na dvě části, výstupy 1 až 4 a 5 až 8 mají společné vstupní napětí 24 V i zem.

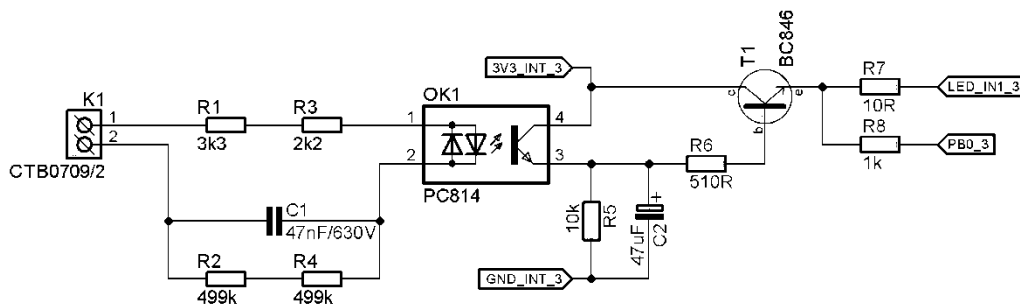
2.4.4 Vstupy 230V

Modul vstupů 230 V obsahuje 8 samostatných galvanicky oddělených vstupů pro napětí 230 V. Na Obrázek 2.14 je fotografie desky.



Obrázek 2.14: Fotografie DPS vstupů 230V.

Zapojení jednoho vstupního kanálu je na Obrázek 2.15. Ve vstupním obvodu jsou zapojeny v sérii rezistory R1 a R3, které omezují nabíjecí proud kondenzátoru C1. Rezistory R2 a R4 zajišťují bezpečné vybití kondenzátoru po odpojení vstupu. Rezistory jsou zapojeny vždy dva v sérii s ohledem na maximálnímu výdržnému napětí rezistorů v SMD pouzdře 1210 $U_{MAX} = 200$ V. Kondenzátor C1 díky svojí impedanci omezuje proud procházející diodami na vstupu optočlenu.

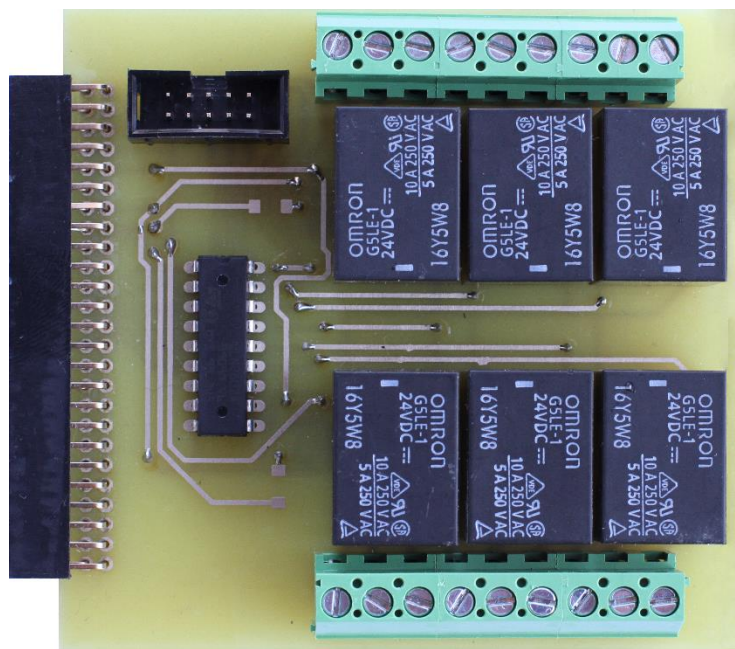


Obrázek 2.15: Schéma zapojení jednoho kanálu vstupu 230V.

Kapacita kondenzátoru $C1 = 47 \text{ nF}/630\text{V}$ s impedancí pro síťovou frekvenci 50 Hz $Z_{C1} \approx 68 \text{ k}\Omega$ a dva rezistory zapojené v sérii $R1 = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ nastavují proud optočlenem $I_{OK1} \approx 3 \text{ mA}$. Optočlen OK1 je typ PC814 s antiparalelním zapojením vstupních diod pro sepnutí detekčního tranzistoru při průchodu obou polarit vstupního napětí. Kondenzátor C2 vyhlazuje Pulzní napětí na stejnosměrné.

2.4.5 Reléové výstupy

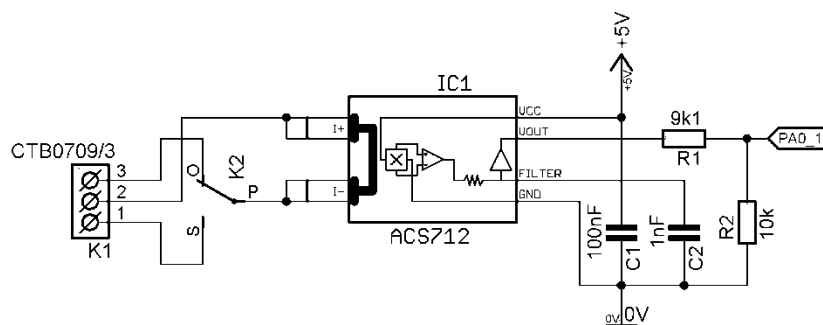
Modul reléových výstupů obsahuje 6 relé pro spínání výkonových zátěží. Fotografie modulu je na Obrázek 2.16.



Obrázek 2.16: Fotografie DPS reléových výstupů.

Relé G5LE-1 jsou dimenzována pro spínání zátěže s proudem až 10 A při napětí 250 VAC pro rezistivní zátěž a až 5 A při napětí 250 VAC pro induktivní zátěž. Pro spínání cívek jednotlivých relé je použit obvod ULN2803[23], který v jednom pouzdře integruje 8 tranzistorů v Darlingtonově zapojení. Vstupní obvod je přizpůsoben pro přímé ovládání jednotlivých tranzistorů z mikroprocesoru $3,3\text{V}$ logikou a integruje také sériový rezistor omezující proud. Na jednotlivých výstupech je zapojena dioda pro ochranu před

špičkovým napětím při odpojení cívky relé.

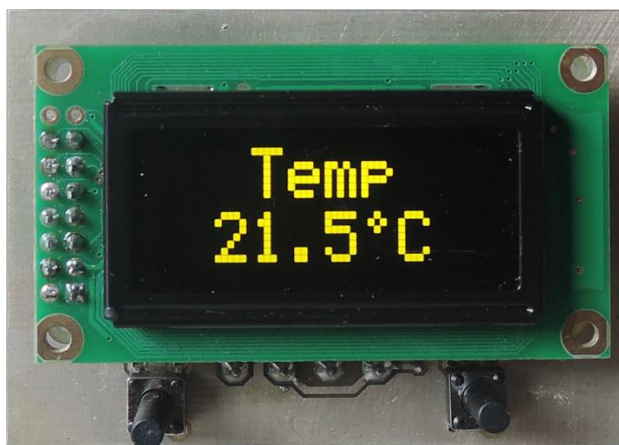


Obrázek 2.17: Schéma zapojení měření proudu reléového výstupu.

První dva kanály reléového modulu obsahují integrovaný obvod ACS712[24] pro měření stejnosměrného i střídavého proudu na principu Hallova jevu. Schéma zapojení je na Obrázek 2.17. Zapojení vychází z katalogového listu. Obvod na svém výstupu při měřeném nulovém proudu má napětí odpovídající $U_{CC}/2$. Napájecí napětí obvodu je $U_{CC} = 5\text{ V}$. Rozlišení obvodu je ve verzi ACS712-05B $U_{OUT} = 185\text{ mV/A}$. Maximální měřený proud je 5 A. Obvod je schopný měřit obě polaritu procházejícího proudu. Je tak vhodný i pro měření střídavého proudu a výpočet RMS hodnoty proudu. Výstup obvodu je opatřen děličem pro připojení k mikroprocesoru s maximálním vstupním napětí AD převodníku 3,3 V.

2.4.6 Termostat

Pomocí modulu termostatu je možné měřit teplotu vzduchu v místnosti a nastavovat požadovanou prahovou teplotu pro ovládání topení. Fotografie modulu je na Obrázek 2.18.



Obrázek 2.18: Fotografie DPS Termostatu.

Schématické zapojení vychází z desky popisované v kapitole 2.4.1. Zapojení je doplněno o teplotní čidlo MCP9701A[25] s měřicím rozsahem 0 °C až 70 °C při maximální chybě $\pm 2\text{ °C}$ a rozlišením $19,5\text{ mV/°C}$. Jako zobrazovač slouží OLED displej

Winstar WEH000802AL[26] s možností zobrazení 8 znaků na každém ze dvou řádků. Pro ovládání teploty slouží dvě tlačítka. Celý modul má rozměry 65x45mm umožňující vestavění do klasického vypínačového rámečku, který se umísťuje do podmítkové elektroinstalační krabice KU68.

2.5 Mechanická konstrukce

Všechny moduly z kapitol 2.4.2, 2.4.3, 2.4.4, 2.4.5 spolu s moduly z kapitoly 2.4.1 jsou navrženy pro umístění do standardní instalační rozvaděčové krabice na DIN lištu KPDIN 05 o rozměrech 64x139x90mm [VxŠxH]. Připojení modulů v rozvaděči je díky použitým svorkám možné vodičem o maximálním průřezu 2,5 qmm.

3 FIRMWARE

Firmware mikroprocesorů byl naprogramován v jazyce C. Pro obsluhu periférií mikroprocesorů STM32 jsou použity knihovny HAL[27] dodávané výrobcem mikroprocesorů STM32. Pro vytvoření projektů a základní konfiguraci periférií je použit softwarový grafický nástroj STM32CubeMX[28]. V projektech je implementován preemptivní operační systém FreeRTOS pro rozdělení aplikace do více vláken a snadnější správu hardwarových prostředků mezi vlákny. Firmware je složen ze dvou základních modulů. Knihovna RS485.c obstarává komunikaci po síťovém rozhraní a zjišťuje nízko úrovněvé zpracování komunikačního protokolu, DomBus.c se stará o obsluhu jednotlivých funkcí slave i master modulů.

Pro systém byly vytvořeny dvě základní verze firmwaru. Jeden pro obsluhu Master modulu a druhý pro slave moduly. Oba obsahují knihovny RS485.c a DomBus.c. Knihovna DomBus.c pro master modul je ochuzena o funkce spojené s obsluhou vstupů a výstupů, které mají slave moduly, drobné změny jsou v datových strukturách a logice zpracování přijatých paketů.

Firmware pro slave moduly je univerzální pro všechny typy modulů. Mezi moduly je rozdíl v používaných perifériích a jejich konfiguraci. Pro různé typy slave modulů jsou v softwaru také využívána jiná vlákna operačního systému. Inicializace periférií je tak zajištěna na základě adresy slave modulu. Adresa je modulům přidělována na základě unikátního 96-bitového ID uloženého do paměti flash mikroprocesoru při výrobě. Pro další vývoj zařízení je firmware jen s drobnými úpravami připraven na konfiguraci adresy a funkce slave modulu z automatizačního serveru.

3.1 Rozhraní RS485

Jako síťová komunikační vrstva slave modulů slouží v projektu rozhraní RS485, které je tvořeno převodníkem z rozhraní UART. Pro jeho obsluhu stačí volit směr komunikace digitálním výstupem. Další obsluha je již stejná jako u rozhraní UART. Komunikace po síti probíhá rychlostí 38400 baudů/s. K příjmu a odesílání dat je využita jednotka DMA.

Odesílání probíhá standartní cestou předáním ukazatele na data jednotce DMA. Pro příjem je využit kruhový režim DMA jednotky, při kterém jednotka ukládá příchozí data do pole a při uložení do posledního prvku pole začíná ukládat opět na pozici s indexem 0.

Funkce RS485_Init() inicializuje vlákno operačního systému pro vyčítání dat z kruhového bufferu, vyčistí datový registr UARTu pro předejití chybného příjmu a smaže příznaky v status registru UARTu.

Pro příjem slouží funkce RS485_Slave_Recieved(). Jejím zavoláním dojde k odeslání ukazatele na datovou strukturu pro příjem dat do fronty RS485RxQueue a odblokování vlákna RS485RXTask. Toto vlákno kontroluje obsah registru CNDR, který obsahuje informaci o počtu zbývajících bajtů do konce příjmu. Tento údaj je použit jako zapisovací ukazatel kruhového bufferu. Pokud je hodnota zapisovacího a čtecího bufferu rozdílná, jsou data načítána z bufferu a po jednotlivých bytech předávána funkci RS485_ExecuteIncomingBytes. Tato funkce již pracuje s protokolem DomBus. Z přijatých dat načítá délku paketu, adresu a kontrolní součet. Po příjmu celé zprávy dojde

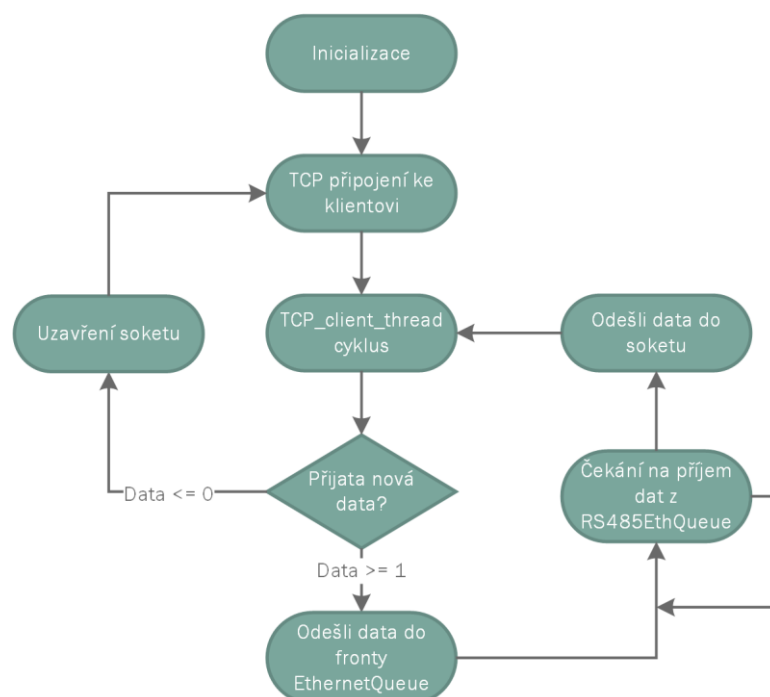
k výpočtu kontrolního součtu a kontrole adresy. V případě shody dochází k zablokování vlákna RS485RXTask a k uvolnění semaforů xRS485_UART_Mutex. Při chybném příjmu slave modul na zprávu nijak nereaguje a dál čeka na synchronizační byte od kterého začne přijímat novou zprávu. Komunikační modul čtyřikrát dotaz zopakuje. Pokud nepřijde odpověď, odešle serveru hlášení o chybě.

Pro odesílání dat slouží standartní funkce hal knihovny HAL_UART_Transmit_DMA(). Před samotným odesláním je aktivován výstup pro ovládání směru komunikace převodníku UART ⇔ RS485. Pro přepnutí převodníku do přijímacího režimu je využita callback funkce, která je vyvolána HW přerušením po dokončení TX přenosu UARTu.

3.2 Rozhraní Ethernet

Pro obsluhu rozhraní Ethernet komunikačního modulu je možné použít tak jako u jiných periférií mikroprocesorů STM32 HAL knihovny. Pomocí této knihovny je možné komunikovat na fyzické vrstvě Etherneu. Což v modelu ISO/OSI představuje 1. vrstvu komunikačního protokolu. Komunikace s Raspberry Pi probíhá přes protokol TCP. Firmware proto obsahuje volně dostupný LWIP TCP/IP stack šířený pod licenci BSD. LWIP stack nabízí několik API pro přístup k jeho funkcím pro komunikaci pomocí TCP nebo UDP protokolů. Jsou to Raw API, Netconn API a Socket API. Pro obsluhu stacku bylo v této práci použito Socket API, které nabízí standartní funkce pro vytvoření a komunikaci pomocí TCP socketu v tzv. BSD stylu.

Master modul komunikuje s Raspberry Pi v režimu TCP klient. Na Obrázek 3.1 je sled funkcí vykonávaných při obsluze komunikace s Raspberry Pi 3.



Obrázek 3.1: Vývojový diagram vlákna TCP_Client.

Vlákno přijímá data ze soketu pomocí funkce `recv()`. Funkce `recv()` je blokující, vlákno ve kterém obsluha probíhá je po dobu čekání na nová data nečinné. Příchozí data se ukládají do struktury „EthIn“, ukazatel na strukturu je pomocí fronty „EthernetQueue“ odeslán vláknu „communication“ které, obstarává obsluhu protokolu DomBus. Po přijetí dat od slave modulu jsou data ve vlákne „communication“ zkopírována do struktury „EthOut“ a pomocí fronty je odeslán ukazatel na data zpět do vlákna Ethernet které zprávu předá automatizačnímu serveru.

3.3 Sít'ový protokol

Pro systém byl navržen univerzální komunikační protokol DomBus, který zajišťuje předání zpráv mezi moduly připojenými k síti. Protokol obsahuje pouze nezbytné množství informací pro co nejrychlejší komunikaci. Pro komunikaci se používají dva základní typy paketů. Komunikační procesor vysílá do sítě paket ve formátu z Obrázek 3.2

Prefix	Délka	Adresa	Adresa I/O	Podpis	Instrukce	ChSum	Data
1 Byte	2 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	1 Byte	2 byte	n Byte
0x2A	0x0000 až 0xFFFF	0x00 až 0xFF	0x00 až 0xFF	0x00 0xFF	Kód instrukce	Kontrolní součet	Data podle instrukce

Obrázek 3.2: Formát sít'ového paketu, který odesílá master slave modulům.

Datový rámec obsahuje na začátku synchronizační byte. Na tento byte se synchronizují slave moduly při příjmu zprávy. Pokud slave neobdrží tento byte, nezačne zpracovávat další data. Po přijetí synchronizačního bytu slave načte další dva byty obsahující délku zprávy. Po přijetí délky je již pevně dané množství bytů, které slave zpracuje. Adresa jednoznačně určuje slave zařízení na jedné linii komunikační sítě. Rozsah adres je 0x01 až 0xFE. Podpis je číselný identifikátor generovaný komunikačním procesorem při odesílání dotazu. Slave modul tento identifikátor připojí ke své odpovědi tak, aby master mohl jednoznačně ověřit, že se jedná o odpověď na konkrétní dotaz. Byte instrukce určuje funkci, kterou slave vykoná. Seznam instrukcí dostupných v komunikačním protokolu je na Obrázek 3.3.

0x10 až 0x1F	Konfigurace zařízení
0x10	Konfigurace adresy
0x20 až 0x2F	Ovládání digitálních výstupů
0x20	Ovládání Jednotlivých výstupů
0x21	Ovládání výstupů s nastavením času
0x30 až 0x3F	Čtení digitálních vstupů a výstupů
0x30	Čtení digitálních vstupů
0x31	Čtení digitálních výstupů
0x40 až 0x4F	Nastavení analogových výstupů
0x40	Nastavení výstupní hodnoty jednoho výstupu
0x41	Nastavení výstupní hodnoty skupiny výstupů
0x50 až 0x5F	Čtení analogových vstupů
0x50	Načtení jednoho vstupu
0x51	Načtení skupiny vstupů
0x52	Načtení proudu
0x60 až 0x6F	Přenos dat
0x60	RGB jednotky
0x61	Světelné stmívače
0x62	Triakové regulátory
0x63	Termostaty

Obrázek 3.3: Instrukce komunikačního protokolu DomBus.

Slave moduly nemají implementovanou obsluhu všech navržených příkazů. Protokol však dané instrukce obsahuje a budou implementovány při dalším vývoji.

Pro zabezpečení přenosu dat obsahuje paket dva byty kontrolního součtu. Poslední části zprávy jsou data přenášená slave modulům. Blok data je na rozdíl od předchozích bytů nepovinný a jeho délka je závislá na typu požadované instrukce.

Slave modul po zpracování požadavku odpovídá potvrzovací zprávou. Formát ACK paketu je na Obrázek 3.4.

Prefix	Délka	Podpis	AckStatus	ChSum	Data
1 Byte	2 Byte	1 Byte	1 Byte	2 byte	n Byte
0x2A	0x0000 až 0xFFFF	Podpis přijatý v dotazu	0xAA – ok 0xFF - Nok	Kontrolní součet	Data odpovědi

Obrázek 3.4: Tvar odpovědi slave modulu na požadavek master modulu.

Odpověď se opět skládá ze synchronizačního bytu a délky zprávy. Byte podpis obsahuje číslo paketu, které slave přijal v požadavku od master modulu. Byte AckStatus obsahuje informaci o výsledku prováděné instrukce. Zabezpečení je opět formou kontrolního součtu. Data jsou nepovinná.

3.4 Obsluha Digitálních vstupů a výstupů

Digitální vstupy mohou být nakonfigurovány do 3 různých režimů podle typu spínacího obvodu, který je k vstupu připojen.

- Režim 1 :** Systém reaguje odesláním informace o změně pouze při přechodu vstupu z nízké úrovně na vysokou. Režim je vhodný pro připojení tlačítek.
- Režim 2 :** Systém reaguje na přechod vstupu mezi úrovněmi odesláním informace o změně. Není důležitý počáteční stav vstupu při zapnutí systému. Režim je vhodný pro klasické nástěnné vypínače.
- Režim 3 :** Systém odesílá logickou hodnotu vstupu. Režim je vhodný pro připojení indukčních, optických nebo mechanických koncových spínačů, u kterých je důležitá absolutní hodnota signálu a změna hodnoty.

Kontrola stavů digitálních vstupu probíhá ve vlákne „ReadInputs“. Vzorkovací perioda je 20 ms. Pokud dojde ke změně stavu některého ze vstupů, použije se ošetření proti zámkům a nový stav vstupů je odeslán do fronty „PinsStateQueue“. Z fronty načítají stavy vstupů funkce protokolu DomBus.

Digitální výstupy je možné obsluhovat všechny naráz pomocí funkce SetDigitalOutputs() nebo každý výstup zvlášť funkci SetDigitalOutput(). Stav výstupů je měněn přímým zápisem do registru BSRR.

3.5 Obsluha analogových vstupů

Jako analogový vstup slouží v práci modul termostatu a obvod pro měření proudu na desce reléových vstupů.

3.5.1 Nastavení AD převodníku

Mikroprocesory řady STM32F0 obsahují 12-bitový AD převodník s postupnou aproximací. Převodník může pracovat v režimu manuálně spouštěné konverze (single conversion), kontinuální konverze (continuous conversion), konverze skupiny kanálů (scan mode) a externě spouštěné konverze (discontinuous conversion).

AD převodník STM32F0 umožňuje automatickou kalibraci před začátkem měření. Kalibrace je prováděna příkazem z knihovny HAL:

```
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc);
```

Mikroprocesor v pouzdře LQFP48 nemá vstup pro externí napěťovou referenci pro AD převodník. Pro měření je tedy možné použít jako referenci napájecí napětí. Případně je možné na některý ze vstupů AD převodníku přivést referenční napětí a kompenzaci

provádět softwarově. Pro měření teploty a proudu není přesnost převodu natolik kritická, aby bylo nutné externí referenci použít. Pro zpřesnění výsledku je použita technika normalizace referenčního napětí referenčním hodnotou vnitřní napěťové reference.

Pro výpočet hodnoty měřeného napětí z dat AD převodníku slouží vztah:

$$U_{IN} = AD_{DATA} \times \frac{V_{DDA}}{AD_{scale}} = [^{\circ}C] \quad (3.1)$$

Kde U_{IN} je měřené napětí, AD_{DATA} jsou výstupní data AD převodníku, V_{DDA} je napájecí napětí analogových obvodů mikroprocesoru a AD_{SCALE} je rozsah AD převodníku.

Napájecí napětí V_{DDA} může kolísat a to přináší chybu do měření. Proto je možné vypočítat jeho skutečnou hodnotu pomocí kalibrační konstanty AD převodníku, která byla změřena při výrobě mikroprocesoru při napájecím napětí 3,3 V a teplotě 30°C. Kalibrační konstanta pro procesor STM32F051 je uložena v paměti Flash na adrese 0x1FFFF7BA. Výpočet skutečné hodnoty napájecího napětí se pak provede pomocí vztahu

$$V_{DDAN} = U_{CAL} \times \frac{U_{INTREF_CAL}}{U_{Meas_INTREF}} = [V]$$

Kde V_{DDAN} je skutečná hodnota napájecího napětí, U_{CAL} je napájecí napětí při kterém byla kalibrační hodnota změřena, U_{INTREF_CAL} je kalibrační konstanta načtená z paměti mikroprocesoru a U_{Meas_INTREF} je napětí změřené na interní referenci.

3.5.2 Měření teploty

Pro měření teploty je převodník nastaven do režimu kontinuální konverze s přenosem naměřených dat do paměti pomocí jednotky DMA a automatickým spouštěním následující konverze jednotkou DMA. Pro odstranění rušení je průměrováno 64 naměřených hodnot.

Po normalizaci napájecího napětí kalibrační konstantou je již možné vypočítat měřenou teplotu z výstupního napětí teploměru ze vztahu

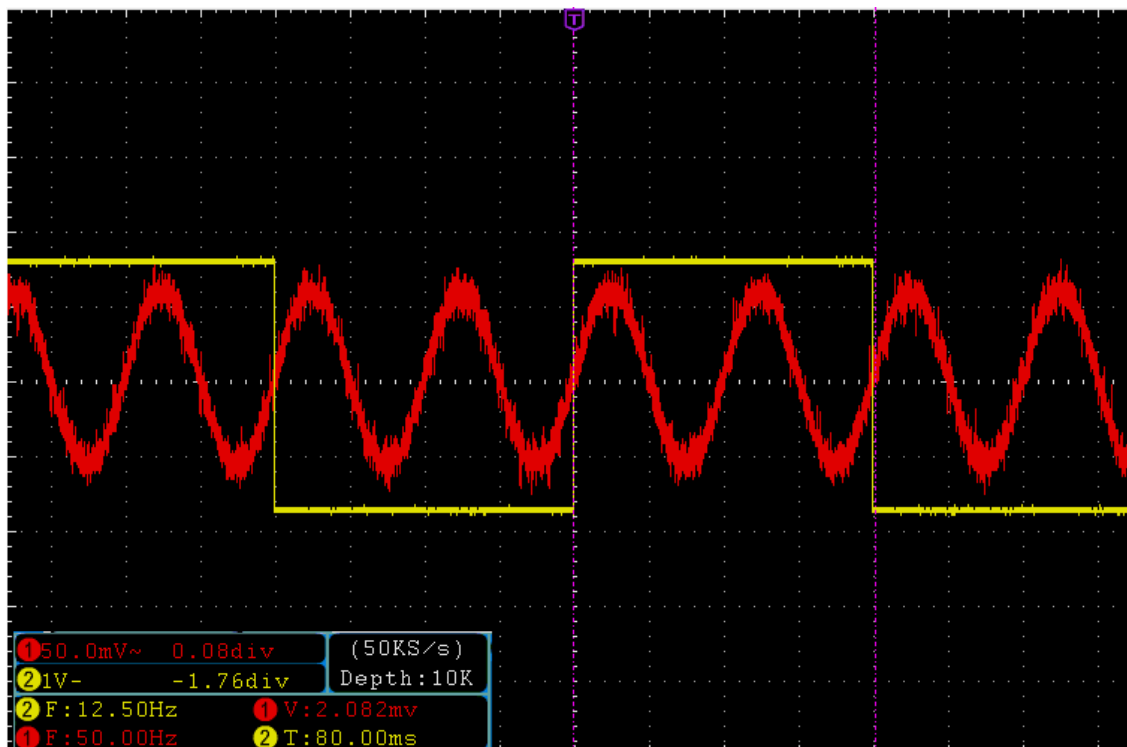
$$T_M = \frac{U_{OUT} - U_{0^{\circ}C}}{T_C} = [^{\circ}C]$$

Kde T_M je hledaná teplota, U_{OUT} je výstupní napětí snímače, $U_{0^{\circ}C}$ je výstupní napětí snímače při nula stupních celsia, pro MCP9701A je $U_{0^{\circ}C} = 400mV$ a T_C teplotní koeficient pro MCP9701 je $T_C = 19,5mV/^{\circ}C$.

3.5.3 Měření proudu

Měření proudu je zajištěno pomocí obvodu Allegro ACS712. Tento obvod převádí měřený proud na napětí v poměru 185mV/A. Na Obrázek 3.5 žlutý průběh představuje čas vzorkování jednoho souboru hodnot a červený průběh je průběh výstupního napětí

obvodu ACS712.



Obrázek 3.5: Průběh výstupního napětí z obvodu ACS712 a délka vzorkovací periody.

Vztah mezi výstupním napětím obvodu a okamžitou hodnotou proudu procházejícího přes obvod ACS712 udává vztah:

$$U_{OUT} = I_L \times \text{Sens} + \frac{V_{CC}}{2} = [\text{A}] \quad (3.2)$$

Kde U_{OUT} je výstupní napětí obvodu, I_L je měřený proud, Sens je citlivost mV/A pro ACS712-05 je to 185mV/A a V_{CC} je napájecí napětí.

Pro výpočet efektivní hodnoty proudu je možné použít vztah:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (I[n]^2)}{N}} = [\text{A}] \quad (3.3)$$

Kde I_{RMS} je hledaná efektivní hodnota, N je počet změřených hodnot a $I[n]$ je okamžitá hodnota proudu.

Pro výpočet efektivní hodnoty proudu pomocí vztahu 3.3 je nutné vzorkovat signál po dobu minimálně dvou period. Frekvence síťového napětí 50Hz je velmi nízká a vyžaduje vzorkování dlouhou dobu nízkým vzorkovacím kmitočtem.

Hodinový signál pro AD převodník je na procesoru STM32F051R8T6 možné nastavit ze dvou zdrojů. Je možné použít systémový hodinový signál z PLL násobiče. Pro tento zdroj je k dispozici předdělička. Děliče je možné nastavit jeden ze tří dělicích faktorů 0x, 2x a 4x. Maximální kmitočet AD převodníku je 14 MHz, proto při taktovací frekvenci 48MHz je možné použít pouze děličku 4x. Vzorkovací kmitočet AD převodníku je pak při nastavené nejdelší možné délce převodu jednoho kanálu 239,5 hodinového cyklu $f_{VZ} \approx 50\text{kHz}$. Druhá možnost taktování AD převodníku je využít RC oscilátor v jednotce AD převodníku. Ten poskytuje taktovací kmitočet 14MHz. To dává vzorkovací kmitočet $f_{VZ} \approx 58\text{kHz}$.

Pro vzorkování dvou period signálu s frekvencí 50Hz představuje použití těchto vzorkovacích kmitočtů obrovské nároky na paměť pro vzorky bez jakéhokoliv užitku. Proto je použita technika trigrování AD převodníku pomocí časovače TIM1. TIM1 spouští AD převod každých 500 μs .

Pro měření proudu je AD převodník nastaven v režimu kontinuálního převodu s trigrováním pomocí časovače TIM1. AD převodník po startu převodu vzorkuje po dobu dvou period měřeného signálu vzorkovacím kmitočtem $f_{VZ} = 2\text{kHz}$. To dává 240 vzorků pro jeden výpočet. Data jsou do paměti přenášena pomocí jednotky DMA.

4 SOFTWARE

4.1 Softwarové vybavení

Pro funkci celého systému je klíčové softwarové vybavení Raspberry Pi 3. V Tabulka 4.1 jsou uvedeny hlavní softwarové nástroje a programovací jazyky, ve kterých je systém naprogramován.

Tabulka 4.1: Hlavní softwarové komponenty pro tvorbu systému.

Funkce	Nástroj	Verze
Operační systém	Operační systém	Raspbian Jessie 4.1
Webový server	Apache	2. 4. 10
Databázový server	MySQL	5. 5. 44
Programovací jazyk na straně serveru	PHP	5. 6. 19
Programovací jazyk na straně klienta	JavaScript - jQuery	2. 2. 1
CSS freamework	Bootstrap	3. 3. 6

4.2 Databáze MySQL

Databáze MySQL slouží jako datové uložení systému. Skrze databázi komunikují jednotlivé části softwaru. Systém pracuje s relacemi mezi tabulkami v databázi. Pro každý typ vstupu nebo výstupu je vytvořena samostatná tabulka. Asociační tabulky definují vztahy mezi záznamy v tabulkách vstupů a výstupů. Všechny tabulky uložené v databázi jsou vypsány v Tabulka 4.2.

Tabulka 4.2: Seznam tabulek v MySQL databázi.

Název tabulky	Popis tabulky
DigitalInputs	Informace o jednotlivých digitálních vstupech
DigitalOutputs	Informace o jednotlivých digitálních výstupech
AnalogInputs	Informace o analogových vstupech
AsocTableAIDO	Asociační tabulka svazující analogové vstupy a digitální výstupy
AsocTableDIDO	Asociační tabulka svazující digitální vstupy a digitální výstupy
AsocTableRelationshipsDIDO	Asociační tabulka pro vytvoření logických vztahů mezi vstupy
DeviceType	Seznam všech typů zařízení s jejich textovým popisem
Rooms	Seznam místností v objektu

Rozdělení dat do více tabulek systém zpřehledňuje a umožňuje nad holými daty poskytovanými slave moduly vytvořit na straně webového serveru komplikované logické vztahy.

4.2.1 Práce s prvky v databázi

Na Obrázek 4.1 je schéma propojení tabulek, které zajišťují fungování digitálních vstupů a výstupů. Každý vstup nebo výstup má v tabulce „DigitalInputs“ nebo „DigitalOutputs“ svůj záznam, který popisuje adresu vstupu, jeho vlastnosti, stav a textový popis. Pro navázání digitálního vstupu na digitální výstup slouží tabulka „AsocTableDIDO“.



Obrázek 4.1: Schéma vztahů mezi tabulkami databáze.

Do tabulky se jako cizí klíče vloží primární klíče z tabulek „DigitalInputs“ a „DigitalOutputs“ vstupů a výstupů, které mají být spojeny. V běžné instalaci často nastane situace, kdy je potřeba vytvářet mezi vstupy logické vztahy. Spojit více vstupů je možné pomocí tabulky „AsocTableRelationshipsDIDO“. Tabulka obsahuje 4 sloupce pro uložení primárních klíčů z tabulky „AsocTableDIDO“ a 3 sloupce pro nastavení logických podmínek mezi záznamy. Obrázek 4.2 graficky znázorňuje vztahy mezi záznamy v jednotlivých tabulkách.

DigitalInputs			AsocTableDIDO			DigitalOutputs		
ID	DeviceAddress	NodeAddress	ID	FKDigInputs	FKDigOutputs	ID	DeviceAddress	NodeAddress
0	2	1	0	0	0	0	12	1
1	2	2	1	1	0			
2	2	3	2	2	0			

AsocTableRelationshipsDIDO					
ID	FKDIDO1	Relation12	FKDIDO2	Relation23	FKDIDO3
0	0	3	1	3	2

Obrázek 4.2: Znárodnění vztahů mezi tabulkami

Tato modelová situace propojuje v tabulce „AsocTableDIDO“ Digitální vstupy s ID 0, 1, 2 s digitálním výstupem s ID 0. V tabulce „AsocTableRelationshipsDIDO“ je pak mezi propojeními vytvořen logický vztah XOR. K dispozici jsou vztahy AND - 1, OR - 2 a XOR - 3.

4.3 Vizualizace

Vizualizace systému umožňuje uživateli kontrolovat stavy všech vstupů a výstupů. Díky vizualizaci může uživatel ovlivňovat stavy výstupů i přímo z prostředí webového prohlížeče místo změny stavu vstupů z kapitol 2.4.2, 2.4.4 a 2.4.6. Vizualizace dále umožňuje přidávání nových zařízení do systému a programování vztahů mezi vstupy a výstupy.

Kapitola 4.3.2 popisuje koncept generování obsahu přehledové stránky a její aktualizaci bez přičinění uživatele. V kapitole 4.3.3 je popsán způsob, jakým se do systému přidávají nové prvky a v kapitole 4.3.4 je popsán princip programování vztahů mezi vstupními a výstupními moduly.

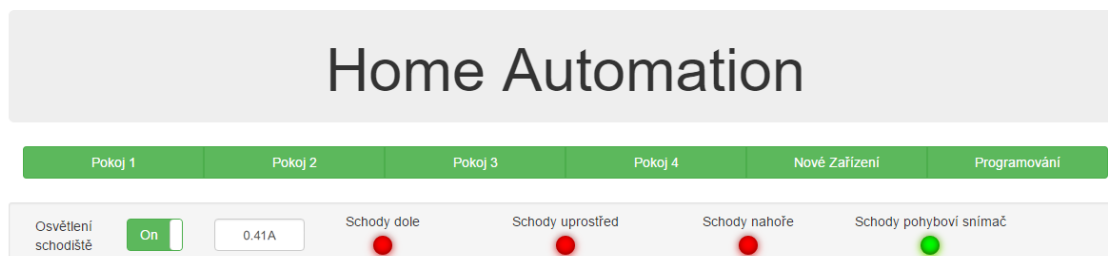
Tabulka 4.3: Seznam souborů použitých pro tvorbu vizualizace.

Stránka	Popis funkce
index.php	Základní layout stránky
AutoRefresh.php	Skript pro načtení nových stavů prvků na stránce
DBConnect.php	Skript pro vytvoření připojení k databázi
GetNodeAddress.php	Skript pro generování adres zařízení do formulářů
NewDevice.php	Skript pro generování stránky pro přidání nových zařízení
NewDeviceIntoDB.php	Skript pro přidání nových zařízení do databáze
ProgramRelations.php	Skript pro generování stránky pro vytváření vztahů
RelationsIntoDB.php	Skript pro přidání nových vztahů do databáze
UpdateDB.php	Skript pro zápis změny stavu vstupů z vizualizace do databáze
Pokoj.php	Skript pro generování stránky vizualizace pro jednotlivé pokoje

4.3.1 Grafické uživatelské rozhraní

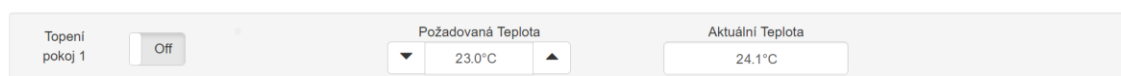
Vzhled a funkčnost grafických ovládacích prvků jsou důležité vlastnosti vizualizace pro pohodlné ovládání systému uživatelem. Pro vytvoření vzhledu je v projektu použit

klasický jazyk HTML s CSS framework „Bootstrap“. Tato kombinace umožňuje tvorbu vzhledově konzistentních stránek s funkcí přizpůsobení vzhledu na obrazovkách s různým rozlišením. Stránka identifikuje rozlišení zařízení, na kterém se vykresluje a podle toho se přizpůsobuje zobrazení. Na Obrázek 4.3 je ukázka vzhledu ovládacích prvků digitálních výstupů a indikace stavu digitálních vstupů.



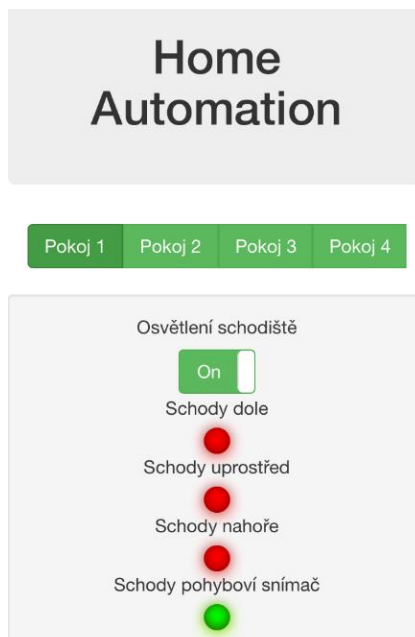
Obrázek 4.3: Vzhled ovládacího prvku digitálního výstupu s měřením proudu a zobrazení stavu digitálních vstupů na zařízení s horizontálním rozlišením větším než 768 obrazových bodů.

Na Obrázek 4.4 jsou ovládací prvky analogového vstupu. Zobrazen je analogový vstup teploměru. Na stránce jsou se zpožděním 2 sekundy v kolonce „Aktuální Teplota“ aktualizovány přijímaná data z teploměru. Pomocí ovládacích kolonky pole „Požadovaná hodnota“ je možné měnit požadovanou teplotu, na základě které je vyhodnocována podmínka spínání výstupu.



Obrázek 4.4: Ovládací prvek pro nastavení termostatu

Na malých zařízeních s horizontálním rozlišením menším jak 768 obrazových bodů nejsou zobrazována tlačítka pro přidávání a programování zařízení. To umožňuje vytvořit přehlednější zobrazení na malých zařízeních. Na Obrázek 4.5 je ukázka zobrazení vizualizace na displeji mobilního telefonu iPhone s rozlišením obrazovky 1136x640 obrazových bodů.



Obrázek 4.5: Vzhled ovládacího prvku digitálního výstupu a zobrazení stavu digitálních vstupů na zařízení s horizontálním rozlišením menším než 768 obrazových bodů.

4.3.2 Přehledová stránka vizualizace

O běh webového serveru se stará Apache. Všechny HTML stránky, které Apache odesílá do klienta prohlížeče, jsou generovány dynamicky pomocí php skriptů. Při požadavku prohlížeče na konkrétní stránku, například vizualizace pokoje 1 se kliknutím na tlačítko vyvolá JavaScriptová událost. Knihovna jQuery asynchronně, bez překreslení stránky načte obsah souboru Pokoj1.php.

```
$(document).ready(function() {
    $("#t11").click(function() {
        $("#obsah").load("Pokoj1.php");
    });
});
```

Na straně serveru dojde ke spuštění php skriptu, který načte data z databáze a pošle vygenerovanou stránku prohlížeči. Server spolu s vlastním HTML obsahem stránky do prohlížeče posílá také JavaScriptový kód, který zajišťuje spuštění událostí při různých akcích uživatele.

```

$("input:checkbox").change(function() {
    /*Get information about button*/
    // Select all elements „Input“ with the parameter „type = "button"
    var IDTlacitka = $(this).attr('id');
    // Load attribut "ID" element that triggered event "Click"
    var n = IDTlacitka.search("A"); //Search position of char „A“
    var f = IDTlacitka.length;      //Get length of string
    var DeviceAddress = IDTlacitka.slice(0, n); //Device address
    var NodeAddress = IDTlacitka.slice((n + 1),f); //Node address

    /*Check state of clicked button*/
    if ($('#' + IDTlacitka).prop('checked')) {
        var State = 1;
    } else {
        var State = 0;
    }
    /*Asynchronous call php script with sending data about the event.*/
    $.ajax({
        type: "POST",
        url: "pages/InputsCompute.php",
        data: {
            AFunction: "OutputStateChange",
            DeviceAddress: DeviceAddress,
            NodeAddress: NodeAddress,
            State: State,
            Room: 1
        },
        cache: false,
    });
});

```

Předchozí odstavec ukazuje část kódu pro reakci na stisk tlačítka pro aktivaci digitálního výstupu. Na stránce mohou být desítky tlačítek pro digitální výstupy. Proto má každé tlačítko unikátní ID skládající se z adresy slave modulu, na kterém je výstup a konkrétního čísla výstupu.

Na serveru jsou data přijata a uložena do MySQL databáze. Pomocí následujícího SQL příkazu.

```

$pData = mysqli_query($spojeni, " UPDATE DigitalOutputs
SET NewState = $State
WHERE DeviceAddress = $DeviceAddress
AND NodeAddress = $NodeAddress");

```

Obdobným způsobem je zajištěno ukládání všech dat z webové stránky do databáze. Stav výstupu a vstupů se mohou měnit i stiskem hardwarového tlačítka připojeného k některému ze vstupů. Stránka dokáže v reálném čase reagovat na tyto změny. V pravidelných intervalech dochází k načítání nových dat z databáze, pomocí JavaScriptového časovače.

```

setInterval(function() {
    AutoRefresh_Outputs()
}, 5000); // refresh div after 5 secs

```


Časovač vyvolá spuštění funkce `AutoRefresh_Outputs()`. Tato funkce obdobně jako předchozí funkce pro zápis změny stavu výstupu asynchronně komunikuje se serverem. Funkce načte data z databáze o všech výstupech, pokud došlo ke změně jejich stavů, změni stavu grafických prvků na stránce.

4.3.3 Instalace nových zařízení

Webová stránka generovaná souborem `NewDevice.php` obsahuje několik vstupních formulářů pro zapsání nového zařízení do databáze. Na Obrázek 4.6 je snímek formuláře pro přidání nového digitálního vstupu.

Obrázek 4.6: Vstupní formulář pro přidání digitálního vstupu.

Uživatel do polí formuláře vyplní adresu slave modulu, adresu konkrétního vstupu, textový popis zařízení, umístění v konkrétním pokoji, tak aby bylo možné později generovat vstup na správné vizualizační stránce, typ vstupu popsán v kapitole 3.4 jako je tlačítko, spínač nebo digitální vstup. Stiskem potvrzovacího tlačítka „Set!“ dojde k odeslání dat do databáze a vstup může být od této chvíle přiřazen do vztahu s nějakým výstupem. Takto je možné programovat digitální vstupy, výstupy a analogové vstupy jako je teplota přijímaná z termostatového modulu.

4.3.4 Definice vztahů mezi zařízeními

Celý systém je postaven na interakci mezi vstupy a výstupy. Pro nastavení těchto vztahů slouží stránka generovaná souborem `ProgramRelations.php`. Na Obrázek 4.7 je uživatelské rozhraní tohoto formuláře

Obrázek 4.7: Formulář pro nastavení vztahu mezi digitálními vstupy a výstupy.

K jednomu digitálnímu výstupu je v případě digitálních vstupů možné přiřadit až 4 vstupy. Mezi vstupy je možné vytvářet logické vztahy. Tato možnost dovoluje

naprogramovat chování vstupů tak jako u klasické elektroinstalace. Pokud chce uživatel klasické „schodišťové“ zapojení vypínačů, může mezi vstupy nastavit vztah XOR a při změně stavu kteréhokoliv vstupu dojde k inverzi stavu výstupu. Díky tomu je možné ovládat jeden výstup z více míst jako při zapojení vypínačů s řazením 7 (6-7-6). Mezi vstupy je možné nastavovat zmíněný vztah XOR, AND a OR.

Analogový vstup lze svázat s digitálním výstupem. Pro vstup může uživatel při programování nastavit porovnávací hodnotu, při které dojde k reakci výstupu. U termostatového modulu je možné pomocí tlačítek nebo ovládacích prvků ve vizualizaci měnit porovnávací hodnotu v reálném čase. Pro výstup svázaný s analogovým vstupem je možné nastavit akci sepnutí nebo rozepnutí při dosažení referenční hodnoty.

4.4 TCP Server

Pro zajištění komunikace mezi Raspberry Pi serverem a master komunikačním modulem s rozhraním Ethernet je na Raspberry Pi spuštěn TCP server vytvořený v jazyce php. Proces serveru je spuštěn z příkazového řádku operačního systému Raspberry Pi 3 a běží v nekonečné smyčce. Server vytvoří TCP soket na portu 6000 a IP adrese předělené lokálnímu síťovému adaptéru. Server čeká na příchozí připojení od komunikačního master modulu. Po navázání spojení s komunikačním procesorem probíhá v nekonečné smyčce volání funkcí pro obsluhu sítě slave modulů.

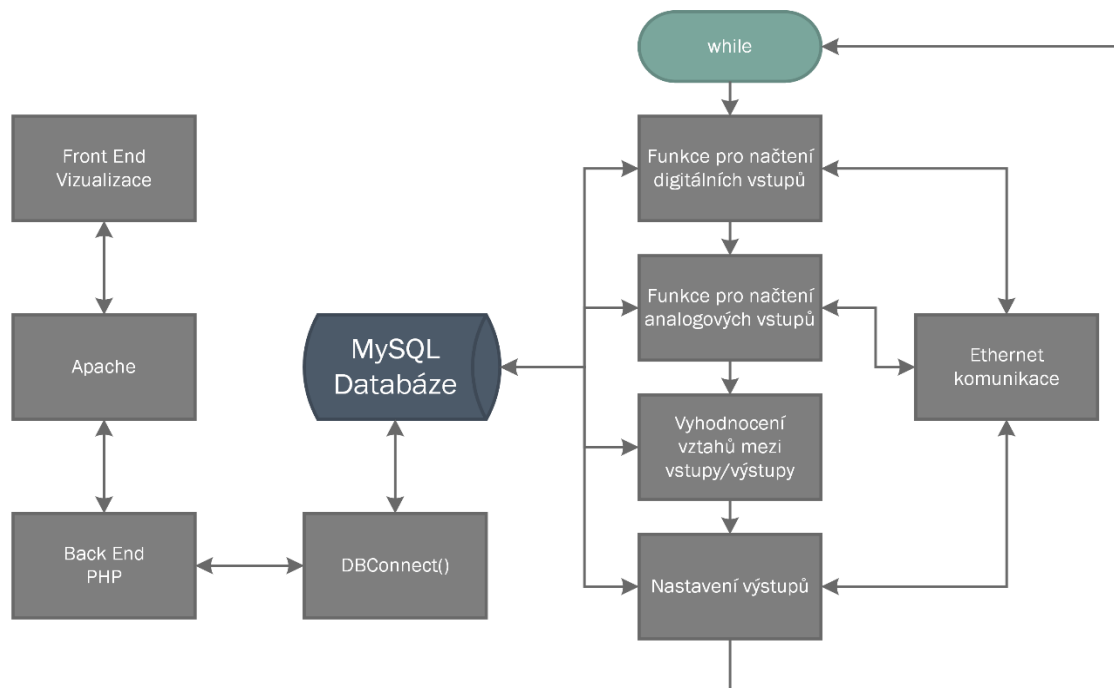
Seznám funkcí, které jsou v procesu TCP serveru volány a jejich krátký popis, uvádí Tabulka 4.4.

Tabulka 4.4: Seznam funkcí TCP serveru.

Funkce serveru	Popis funkce
ReadDigitalInputs()	Čtení stavu digitálních vstupů
CheckDigitalInputsState()	Vyhodnocení stavu digitálních vstupů
ReadAnalogInputs()	Čtení stavu analogových vstupů
SetDigitalOutputs	Vyhodnocení logických vztahů mezi vstupy a nastavení výstupu
CheckDigitalOutputsState	Spínání digitálních výstupů slave modulů
ProcessRelations()	Pomocná funkce pro vyhodnocení vztahů
DBConnect()	Pomocná funkce pro připojení k databázi

Proces Server pomocí funkce ReadDigitalInputs() a ReadAnalogInputs() postupně načítá data z databáze o připojených vstupních slave modulech, na základě načtených adres modulů vyčte stavy digitálních a analogových vstupů ze sítě. Nové hodnoty jsou uloženy do databáze. Proto, aby bylo možné vyhodnocovat různé typy digitálních vstupů popsaných v kapitole 3.4 jsou nové stavy ukládány do sloupce NewState tabulky „DigitalInputs“. V dalším kroku zpracování je na základě typu vstupu a hodnoty záznamu ve sloupci State a NewState funkcí CheckDigitalInputsState() změněn stav sloupce State pro každý vstup.

Obrázek 4.8 ukazuje zjednodušený vývojový diagram procesu TCP serveru a propojení vizualizace se slave moduly přes SQL databázi.



Obrázek 4.8: Vývojový diagram propojení vizualizace a serveru pomocí MySQL databáze.

Po zpracování všech vstupů jsou funkci `SetDigitalOutputs` načteny asociační data mezi vstupy a výstupy. Proto, aby nedocházelo ke zbytečnému zdržování v obsluze sítě, jsou načítány pouze asociační vztahy, ve kterých figurují vstupy se změněným stavem. To systém pozná podle stavu proměnné `NewState` v tabulce vstupů. V SQL dotazu je tato podmínka vložena nakonec za klíčové slovo `WHERE`. Takové načtení vyžaduje dotaz na SQL databázi, který slučuje tři samostatné tabulky.

```
SELECT
  at1.FKDigitalInputs AS FirstAsocI , di1.State AS StateIn1,
  at1.FKDigitalOutputs AS FirstAsocO , Relation12,
  at2.FKDigitalInputs AS SecondAsocI, di2.State AS StateIn2,
  at2.FKDigitalOutputs AS SecondAsocO, Relation23,
  at3.FKDigitalInputs AS ThirdAsocI , di3.State AS StateIn3,
  at3.FKDigitalOutputs AS ThirdAsocO , Relation34 ,
  at4.FKDigitalInputs AS FourthAsocI, di4.State AS StateIn4,
  at4.FKDigitalOutputs AS FourthAsocO, OutputFunction, FunctionValue

FROM AsocTableRelationshipDIDO AS atr
LEFT JOIN AsocTableDIDO AS at1 ON atr.FKDIDO1 = at1.ID
LEFT JOIN DigitalInputs AS di1 ON at1.FKDigitalInputs = di1.ID

LEFT JOIN AsocTableDIDO AS at2 ON atr.FKDIDO2 = at2.ID
LEFT JOIN DigitalInputs AS di2 ON at2.FKDigitalInputs = di2.ID

LEFT JOIN AsocTableDIDO AS at3 ON atr.FKDIDO3 = at3.ID
LEFT JOIN DigitalInputs AS di3 ON at3.FKDigitalInputs = di3.ID

LEFT JOIN AsocTableDIDO AS at4 ON atr.FKDIDO4 = at4.ID
LEFT JOIN DigitalInputs AS di4 ON at4.FKDigitalInputs = di4.ID

WHERE di1.NewState = 1 OR di2.NewState = 1 OR di3.NewState = 1 OR di4.
NewState = 1
```

Uvedený příklad SQL dotazu spojuje data z tabulek „DigitalOutputs“, „DigitalInputs“, „AsocTableDIDO“ a „AsocTableRelationshipDIDO“. Dotaz využívá příkaz „LEFT JOIN“ díky tomu je množství vztahů přiřazených k jednomu výstupu proměnný, vztah mezi výstupem a vstupem je z pohledu databázové logiky 1:N. Pomocí dat načtených tímto dotazem jsou vyhodnoceny všechny vztahy digitálních vstupů a výstupů. Výsledkem je pak změna hodnoty sloupce NewState v tabulce „DigitalOutputs“.

Dále jsou vyhodnocovány vztahy Analogových vstupů a digitálních výstupů. Tento vztah je pouze ve formátu 1:1. To znamená, že k jednomu digitálnímu výstupu je možné přiřadit jeden analogový vstup. Funkce porovná nastavenou prahovou hodnotu s načtenou hodnotou analogového vstupu a na základě toho změní stav výstupu.

V posledním kroku zpracování jsou načteny hodnoty sloupce NewState v tabulce „DigitalOutputs“. Pokud se NewState liší od hodnoty State znamená to, že byl stav výstupu v databázi změněn a systém odešle příkaz slave modulu k sepnutí nebo rozepnutí výstupu.

5 MĚŘENÍ A OVĚŘENÍ FUNKCE SYSTÉMU

Pro měření a testovací provoz systému byl sestrojen testovací panel, který umožňuje pohodlně testovat funkčnost zařízení a demonstruje instalaci systému do standartního domovního rozvaděče. Na Obrázek 5.1 je fotografie panelu včetně ovládací obrazovky Raspberry Pi a dvou boxů simulujících tlačítkové a vypínačové vstupy.



Obrázek 5.1: Sestavený testovací panel systému.

Panel je složen z C profilů, pro uchycení vytvořených modulů slouží DIN lišty. Konstrukce je doplněna o plastové žlaby pro rozvod vodičů. Vstupy a výstupy systému jsou vyvedeny na svorkovnici. Pro napájení slouží zdroj 24 V MurrElektronik. Sběrnice RS485 je propojena Profibus kabelem Siemens 6XV1830-0EH10.

5.1 Elektrické vlastnosti slave modulů

Během měření systému byly ověřeny základní elektrické vlastnosti vstupních a výstupních periférií systému. V kapitolách 5.1.2, 5.1.3, 5.1.4 a 5.1.4 jsou shrnuty naměřené elektrické vlastnosti všech čtyř sestavených digitálních vstupních a výstupních modulů.

Měření bylo prováděno pomocí měřicích přístrojů uvedených v Tabulka 5.1.

Tabulka 5.1: Seznam použitých měřicích přístrojů.

Přístroj	Typ	Označení	Použití
Multimeter	Agilent 34410A	001000206236-0000	Ampérmetr
Multimeter	34405A	001000170801-0000	Voltmetr
Osciloskop	GW GDS-2204	000000315619-0000	Sledování časových průběhů
Napájecí Zdroj	Diametral P230R51	000000120849-0000	Napájení modulů

5.1.1 Digitální vstupy 24 V

Tabulka 5.2: Elektrické parametry modulu Digitálních vstupů 24V

Napájecí napětí	8 – 30 V
Klidový odebíraný proud	5,5 mA
Maximální odebíraný proud	15 mA
Minimální vstupní napětí pro Log. 1	2,2 V
Maximální Vstupní napětí Log. 0	1,56 V
Vstupní proud ($U_{IN} = 24V$)	10,05 mA
Maximální frekvence vstupního signálu	10Hz

5.1.2 Digitální výstupy 24 V

Tabulka 5.3: Elektrické parametry modulu Digitálních výstupů 24 V

Napájecí napětí	8 – 30 V
Klidový odebíraný proud	6 mA
Maximální odebíraný proud	16 mA
Napájecí napětí výkonové části	12 – 30 V
Maximální výstupní proud jednoho kanálu	0,71 A

5.1.3 Vstupy 230V

Tabulka 5.4: Elektrické parametry modulu vstupů 230 V

Napájecí napětí	8 – 30 V
Klidový odebíraný proud	6 mA
Maximální odebíraný proud	22 mA
Maximální vstupní napětí	230 VAC
Minimální Vstupní napětí pro Log. 1	24 VAC
Maximální Vstupní napětí pro Log. 0	9VAC
Vstupní proud ($U_{IN} = 230 \text{ VAC}$)	3,25 mA

5.1.4 Reléové výstupy

Tabulka 5.5: Elektrické parametry modulu reléových výstupů.

Napájecí napětí	20 – 28 V
Klidový odebíraný proud	5 mA
Maximální odebíraný proud	125 mA
Maximální měřený proud	5 A

5.2 Analýza síťové komunikace

Analýza síťové komunikace mezi Raspberry Pi a komunikačním modulem byla provedena pomocí nástroje TcpDump pro záznam síťové komunikace na zařízeních se systémem Linux. TcpDump odposlouchává všechny pakety na síťovém adaptéru a záznam ukládá do souboru *.pcap. Soubor v tomto formátu lze analyzovat v softwaru Wireshark. Pomocí modulu wiresharku pro analýzu komunikace mezi dvěma uzly byla vytvořena statistika komunikace, výsledky jsou shrnuty v Tabulka 5.6.

Tabulka 5.6: Statistika komunikace mezi Raspberry Pi a komunikačním procesorem

IP Adresa ARM modul (A)	IP Adresa Raspberry Pi (B)	Počet paketů	Počet Přenesených Bytů	Počet paketů A ->B	Počet Bytů A ->B	Počet paketů B ->A	Počet Bytů B ->A	Délka záznamu
192.168.1.100	192.168.1.101	295	17kB	118	7122	177	9985	5.86s

Z naměřených dat je patrné, že komunikační rychlost po síti Ethernet je přibližně 2,9kB/s. Tato rychlost je omezena především rychlostí odpovědi slave modulů a krátkým časovým zpožděním vloženým v nekonečné smyčce TCP serveru.

Na Obrázek 5.2 je záznam komunikace na použitých síťových rozhraních. Pro

analýzu byl použit datový rámec aktualizace termostatu. V levé horní části obrázku je popsán odchozí paket TCP serveru. V levém dolním rohu jsou zaznamenána odeslaná data na síť RS485. V pravé dolní části je odpověď slave modulu a v pravé horní části je záznam zpět odeslaných dat TCP serveru. Z analýzy je možné vyčíst čas potřebný pro celkové zpracování tohoto dotazu. Jedná se přibližně o 14 ms.

V dalším kroku byla pomocí osciloskopu měřena celková průměrná doba odezvy systému. Při měření byl jeden kanál osciloskopu připojen na vstup a druhý na výstup. Osciloskop byl nastaven do režimu spouštění časové základny na náběžnou hranu. Po přivedení impulzu na vstup byla odečítána doba, za kterou se aktivuje výstup. Měření bylo opakováno 10x a poté byla vypočtena průměrná doba reakce. Průměrná doba odezvy z tohoto měření je 240 ms.

Ethernet komunikace

Dotaz TCP serveru

Ab.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7	0.1860432	192.168.1.101	192.168.1.100	TCP	59	TCP segment of a reassembled [PO]
8	0.2060332	192.168.1.100	192.168.1.101	TCP	62	TCP segment of a reassembled [PO]
9	0.206054	192.168.1.101	192.168.1.100	TCP	54	6000 → 6000 [ACK] Seq=21 Win=29300 Len=0

Source Port: 6000

Destination Port: 6000

[Stream index: 9]

[TCP Segment Len: 5]

Sequence number: 20895

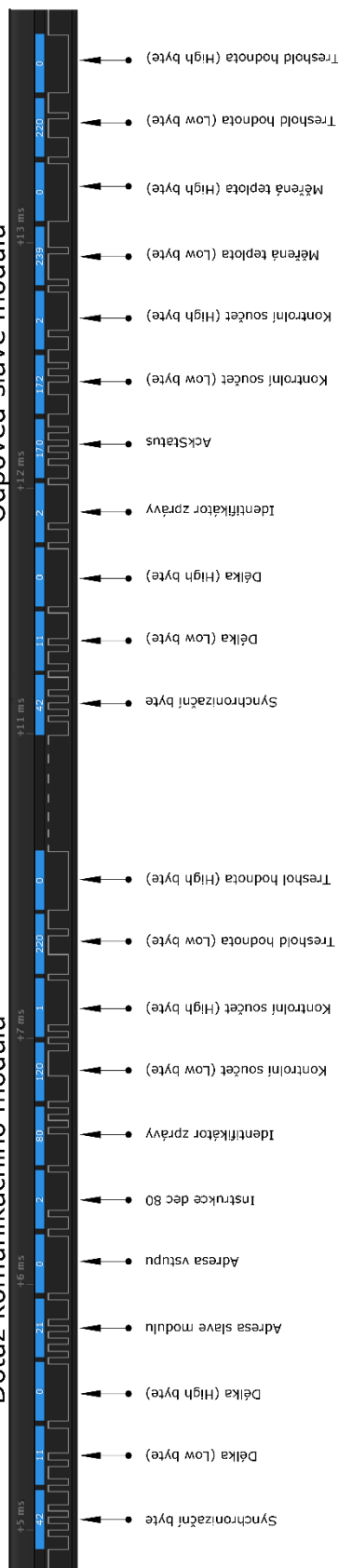
Window length: 20 bytes

Flags: 0010 (SH, ACK)

TCP segment data (5 bytes)

Adresa slave modulu ● Treshold hodnota z databáze (22.3°C)
Adresa vstupu ● Instrukce 0x50(Čtení analogových vstupů)

Dotaz komunikačného modulu



Odpověď komunikačního procesoru

Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7.0.166412	192.168.1.101	192.168.1.100	TCP	59	[TCP segment of a reassembled PDU]
8.0.200532	192.168.1.100	192.168.1.101	TCP	62	[TCP segment of a reassembled PDU]
9.0.200534	192.168.1.101	192.168.1.100	TCP	54	6000 → 6000 [ACK] Seq=21 Win=2930 Len=0

Source Port: 6000

Destination Port: 6000

[Stream Index: 6]

[TCP Segment Len: 8]

Sequence number: 13 (relative sequence number)

Window number: 39

Header length: 20

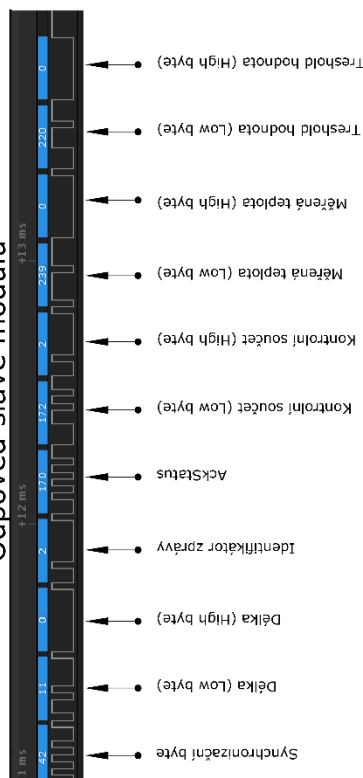
> Flags: 0x018 (PSH, ACK)

TCP segment data (8 bytes)

Adresa Slave modulu
ACK status (xAA - Ack)
Provedená instrukce
Měřená teplota (Low byte)
Měřená teplota (High byte)
Ukončovací znak in
Treshold hodnoty (High byte)
Treshold hodnoty (Low byte)

RS485 komunikace

Odpověď' slave modulu



Obrázek 5.2: Záznam síťové komunikace na síti RS485 a Ethernet

6 ZÁVĚR

V diplomové práci byl popsán koncept systému pro automatizaci budov a konstrukce modulů pro tento systém.

Popisovaný systém je schopný řídit základní prvky běžné elektroinstalace rodinného domu. Mezi tyto prvky patří například světelné obvody, zásuvkové obvody, systémy vytápění a chlazení domu.

V druhé kapitole je popsán návrh hardwaru systému. Úvod kapitoly je věnován výběru řídicího prvku systému. Řídicím prvkem je mikropočítač Raspberry Pi 3, který je dostatečně výkonný a zároveň cenově dostupný. Mikropočítač Raspberry Pi 3 komunikuje po síti Ethernet s komunikačním mikroprocesorem STM32F429ZI. Byly navrženy čtyři základní typy interface modulů, které je možné spojit s univerzální procesorovou slave jednotkou. Jako analogový vstup byl navržen modul termostatu. Pro řízení modulů byl vybrán mikroprocesor STM32F051C8T6. Jako komunikační rozhraní sítě slave modulů byla zvolena sběrnice RS485. Sběrnice RS485 je spolehlivá a umožňuje komunikovat na poměrně velké vzdálenosti, které jsou dostatečné i pro instalaci v rozlehlém rodinném domě.

Kapitola firmware rozebírá softwarovou obsluhu jednotlivých periférií mikroprocesoru. Mikroprocesory využívají pro komunikaci s většinou periférií DMA jednotku. Pro řízení chodu aplikace a izolaci jednotlivých částí firmwaru je použit preemptivní operační systém FreeRTOS. Pro obsluhu periférií je používán balík HAL knihoven. Firmware je tvořen dvěma hlavními částmi. Firmwarem pro komunikační mikroprocesor a firmwarem pro slave moduly. Rozsah tohoto firmwaru je bez inicializačního kódu periférií a používaných knihoven přibližně 1800 řádků kódu v jazyce C. Využití paměti mikroprocesorů je u komunikačního modulu paměť flash: 46 kB to je 2 % a paměť SRAM: 44 kB to je 17 % mikroprocesoru STM32F429ZI, paměť mikroprocesoru slave modulů je využita flash: 30 kB to je 47 % a paměť SRAM: 7,6 kB to je 95 % mikroprocesoru STM32F051C8T6. Pro další rozšíření funkcí slave modulů by tak bylo vhodné použít pro slave moduly mikroprocesor s větší pamětí SRAM například STM32F071RB který nabízí dvojnásobek paměti flash i SRAM.

Navržený systém využívá pro ukládání dat databázi MySQL. Hlavní silou automatizace je vytváření logických podmínek mezi vstupními daty systému, na základě kterých ovlivňuje výstupní aktory. Popisovaný systém využívá k vytváření logiky hlavní sílu SQL databáze a to je systém relačních vztahů mezi tabulkami. Každý typ vstupní nebo výstupní periférie má vlastní tabulku pro uchování informace o periférii. Vztahy pak jsou vytvářeny dalšími tabulkami, které jednotlivé periférie logicky spojují. Pro obsluhu zařízení byla vytvořena webová vizualizace skládající se z několika modulů. Celý kód vizualizace se skládá z přibližně 1300 řádků kódu napsaného v jazycích JavaScript, PHP a HTML. Pro obsluhu sítě slave modulů je na Raspberry Pi 3 provozován TCP server, který komunikuje s komunikačním modulem. Kód TCP serveru je napsán v jazyce PHP a obsahuje přibližně 600 řádků kódu.

Poslední kapitola práce představuje testovací panel, který demonstruje reálné nasazení systému. Dále jsou v kapitole popsána jednotlivá měření, které byla na modulech i celku provedena.

Předložená práce demonstruje základní koncepci automatizačního systému. Díky

zvolenému konceptu je možné systém dále rozšiřovat o další typy speciálních periférií jako jsou světelné stmívače, regulátory led osvětlení, triakové spínače a další. Komunikační síť je možné rozšířit o bezdrátové moduly pro připojení slave jednotek na těžko dostupných místech. Vizualizaci systému by bylo možné rozšířit o další prvky jako kalendář pro plánování spínání topení a ovládání dalších slave modulů.

LITERATURA

- [1] Loxone [online]. Kollerschlag: Loxone, 2015, 2015 [cit. 2015-12-10].
Dostupné z: <http://www.loxone.com/cscz/start.html>
- [2] KNX. *KNX* [online]. Brussels: KNX, 2015, 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.knx.org/knx-en/index.php>
- [3] INels. *Inteligentní instalace Inels* [online]. Holešov: INels, 2015, 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.inels.cz/>
- [4] ABB i-bus KNX - Systém inteligentní elektroinstalace - ABB. *ABB* [online]. - : ABB, 2015, 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/index.asp?thema=8915>
- [5] Ego-n inteligentní elektroinstalace ABB. *Ego-n* [online]. -: ABB, 2015, 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/index.asp?thema=5886>
- [6] Raspberry PI 3 Model B. *Raspberry PI* [online]. -: element14, 2016, 2016 [cit. 2016-5-18]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>
- [7] Raspberry Pi 7" Touchscreen Display [online]. Leeds: Element14, 2015, 2015 [cit. 2015-12-10]. Dostupné z: <http://www.element14.com/community/docs/DOC-78156/1/raspberry-pi-7-touchscreen-display>
- [8] LMR14006 SIMPLE SWITCHER® 40 V 600 mA Buck Regulator With High Efficiency Sleep Mode. In: *Texas Instruments* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2014 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmr14006.pdf>
- [9] SRN6045 Series - Semi-shielded Power Inductors. In: *Bourns* [online]. Bourns: Bourns, 2014 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://www.bourns.com/data/global/pdfs/SRN6045.pdf>
- [10] Conductive Polymer Tantalum Solid Capacitors. In: *Panasonic* [online]. Panasonic: Panasonic, 2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://industrial.panasonic.com/cdbs/ww-data/pdf/AAA8000/AAA8000C46.pdf>
- [11] PMEG6010CEH; PMEG6010CEJ. In: *NXP* [online]. NXP: NXP, 2007 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PMEG6010CEH_PMEG6010CEJ.pdf
- [12] Adjustable and fixed low drop positive voltage regulator. In: *STMicroelectronics* [online]. STM: STM, 2013 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/99/3b/7d/91/91/51/4b/be/CD00000544.pdf/files/CD00000544.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000544.pdf>

- [13] The RS-485 Design Guide. *Texas Instruments* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2008, 2008 [cit. 2015-12-13]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/an/slla272b/slla272b.pdf>
- [14] SN65HVD485E Half-Duplex RS-485 Transceiver. In: *Texas Instruments* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn65hvd485e.pdf>
- [15] STM32F429xx. In: *STMicroelectronics* [online]. STM: STMicroelectronics, 2016 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/03/b4/b2/36/4c/72/49/29/DM00071990.pdf/files/DM00071990.pdf/jcr:content/translations/en.DM00071990.pdf>
- [16] FreeRTOS - Market leading RTOS (Real Time Operating System) for embedded systems with Internet of Things extensions. *FreeRTOS* [online]. -: FreeRTOS, 2015, 2015 [cit. 2015-12-14]. Dostupné z: <http://www.freertos.org/>
- [17] *LwIP - A Lightweight TCP/IP stack* [online]. Savannah: Savannah, 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://savannah.nongnu.org/projects/lwip/>
- [18] STM32 Nucleo-144 board. In: *STM32 Nucleo* [online]. STM: STM, 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/data_brief/group0/7b/df/1d/e9/64/55/43/8d/DM00247910/files/DM00247910.pdf/jcr:content/translations/en.DM00247910.pdf
- [19] Small footprint RMII LAN8742A. In: *Microchip* [online]. Microchip: Microchip, 2013 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/8742a.pdf>
- [20] STM32F051Cx. In: *STMicroelectronics* [online]. STM: STMicroelectronics, 2015 [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/55/53/3e/86/29/61/41/d9/DM00039193.pdf/files/DM00039193.pdf/jcr:content/translations/en.DM00039193.pdf>
- [21] 4N33SM. In: *Fairchildsemi* [online]. Fairchildsemi: Fairchildsemi, 2007 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/4N/4N33M.pdf>
- [22] Smart High-Side Power Switch for Industrial Applications. In: *Infineon* [online]. Infineon: Infineon, 2006 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.infineon.com/dgdl/Infineon-ITS4141N-DS-v01_01-en.pdf?fileId=db3a304412b407950112b429624b40d3
- [23] ULN2803A Darlington Transistor Arrays. In: *Www.ti.com* [online]. Dallas: Texas Instruments, 2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>

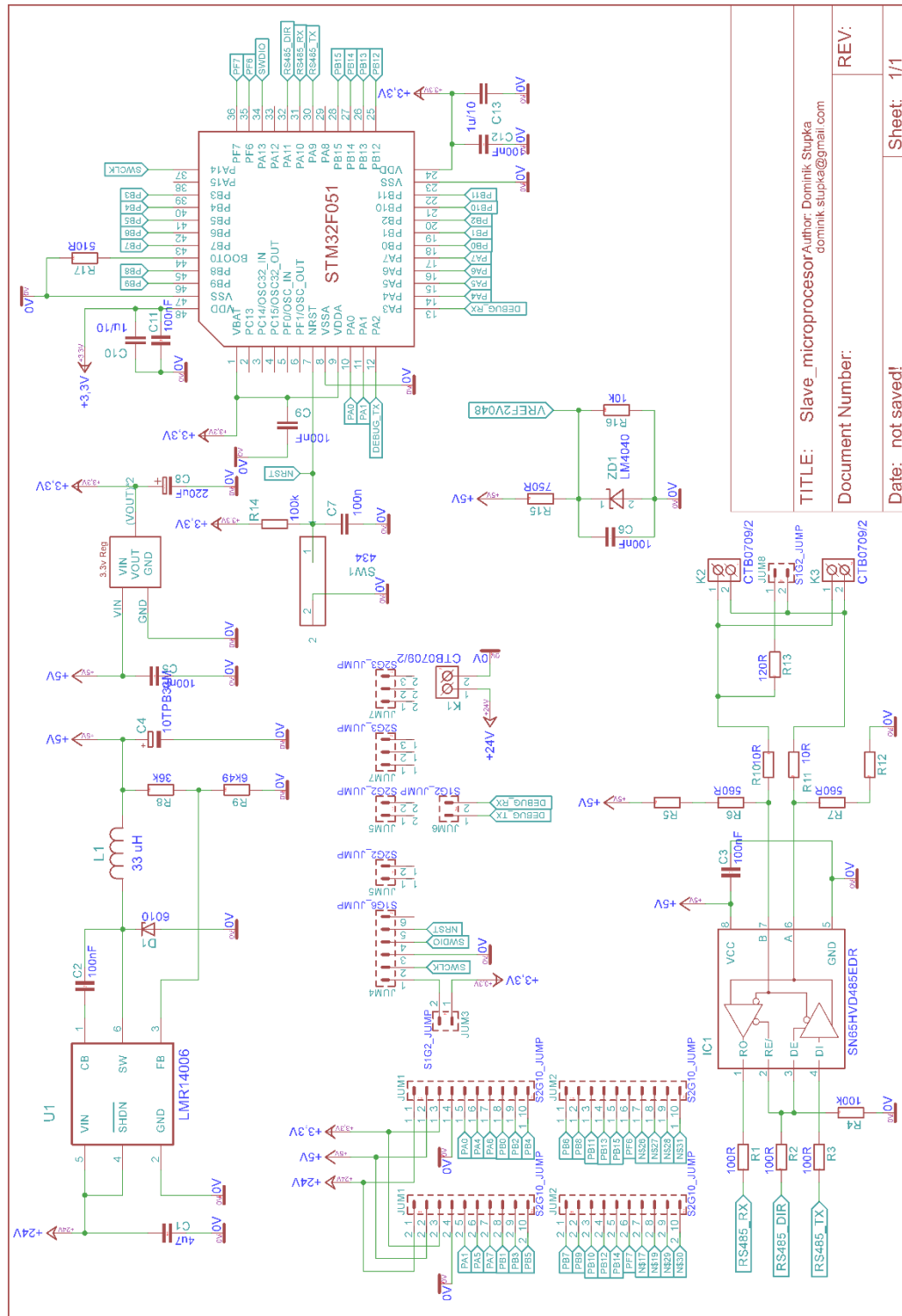
- [24] Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor. In: *Allegromicro* [online]. Worcester, Massachusetts, 2012 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: www.allegromicro.com/~media/Files/./ACS712-Datasheet.ashx
- [25] Low-Power Linear Active Thermistor MCP9701A. In: *Microchip* [online]. Microchip: Microchip, 2009 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21942e.pdf>
- [26] WEH000802A OLED Character 8x2. In: *Winstar* [online]. Taichun city: Winstar, 2014 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: <http://www.winstar.com.tw/download.php?ProID=295>
- [27] Description of STM32F0xx HAL drivers. In: *STMicroelectronics* [online]. STM: STMicroelectronics, 2015 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/2f/77/25/0f/5c/38/48/80/DM00122015.pdf/files/DM00122015.pdf/jcr:content/translations/en.DM00122015.pdf
- [28] STM32 configuration and initialization C code generation. In: *STMicroelectronics* [online]. STMicroelectronics: STMicroelectronics, 2016 [cit. 2016-05-18]. Dostupné z: http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/data_brief/7a/81/a9/b5/72/99/4b/be/DM00103564.pdf/files/DM00103564.pdf/jcr:content/translations/en.DM00103564.pdf

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

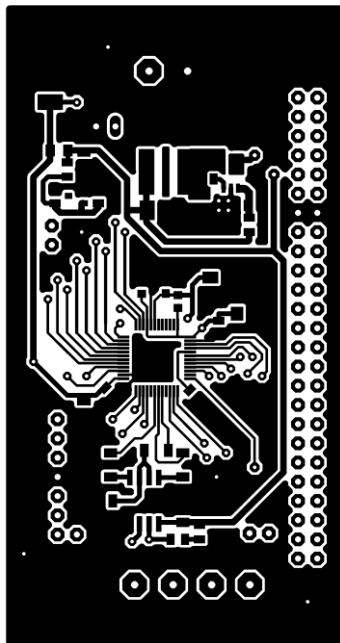
HVAC	Heating, ventilating, air conditioning	topení, ventilace, chlazení
EZS		elektronický zabezpečovací systém
GPIO	General-purpose input/output	univerzální vstup a výstup
DSI	Display seriál interface	sériové rozhraní displejů
ESR	Equivalent series resistance	ekvivalentní sériový odpor
UART	Universal asynchronous receiver/transmitter	asynchronní sériové rozhraní
AD	Analog to digital	
DA	Digital to analog	
DPS		deska plošného spoje
HAL	Hardware abstraction layer	hardwarová abstraktní vrstva
DMA	Direct Memory Access	přímý přístup do paměti
ACK	Acknowledgement	potvrzení
CSS	Cascading Style Sheets	kaskádové styly

A MIKROPROCESOROVÝ SLAVE MODUL

A.1 Schéma zapojení

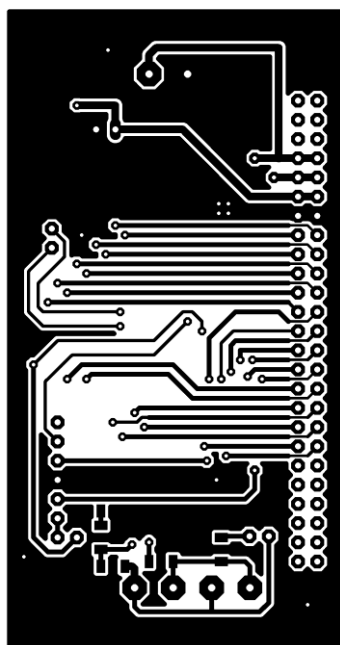


A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



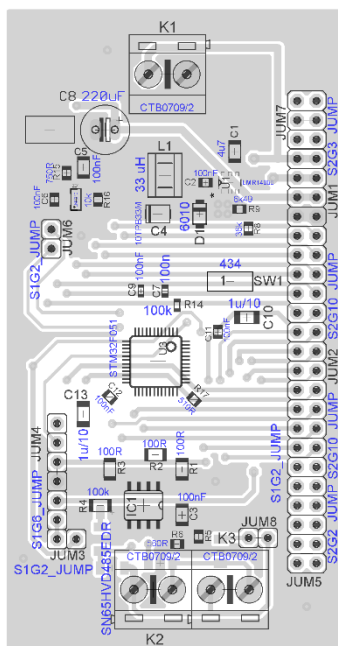
Rozměr desky 45 x 85 [mm], měřítko M1:1

A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

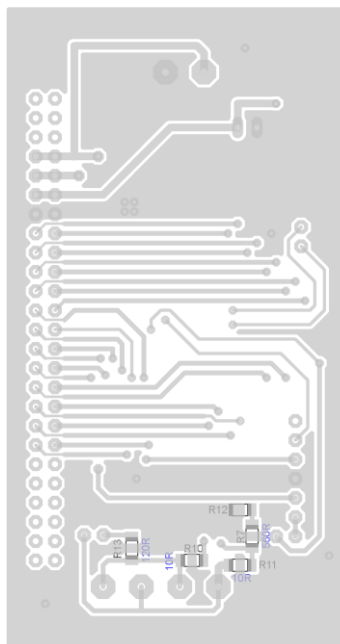


Rozměr desky 45 x 85 [mm], měřítko M1:1

A.4 Osazovací plán – top (strana součástek)



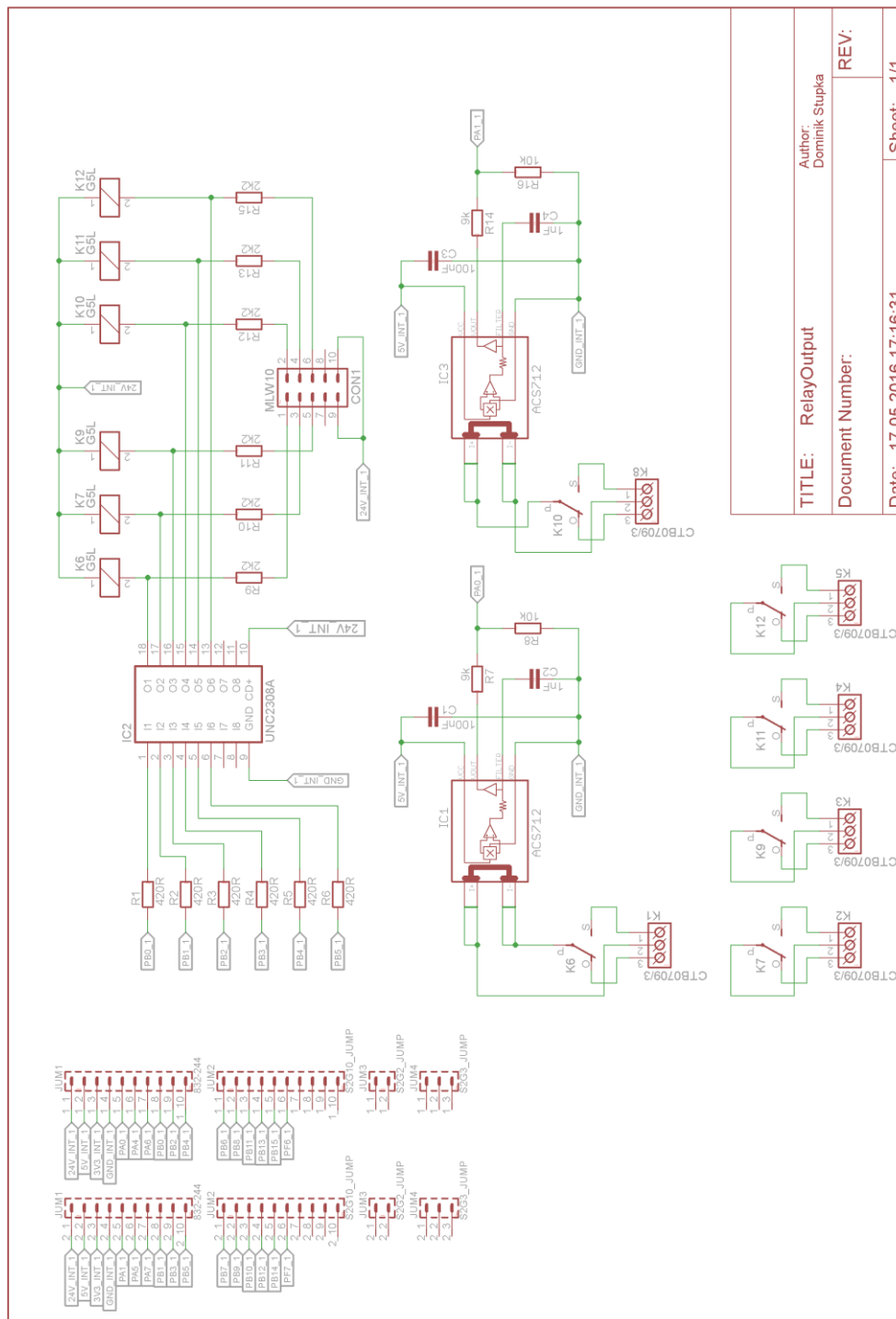
A.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů)



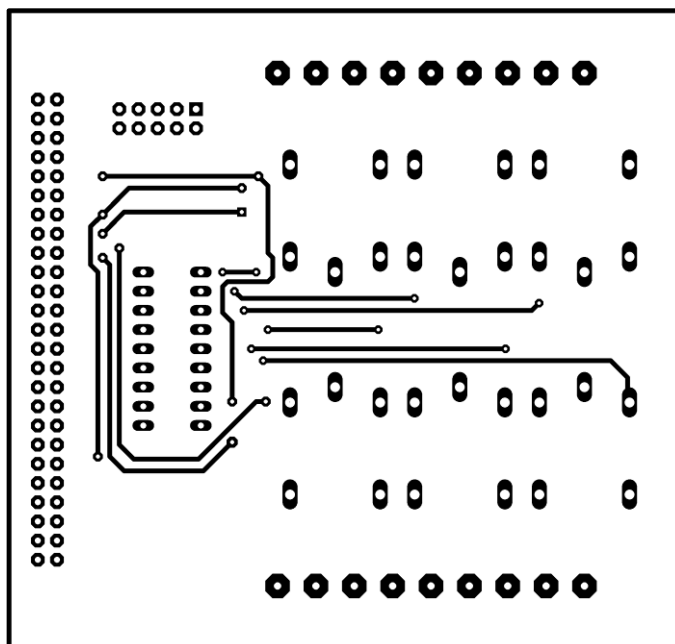
A.6 Seznam součástek

Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
R1, R2, R3	100R	R_1206	Rezistor
R14	100k	R-EU_R0603	Kondenzátor - keramicky
R4	100k	R_1206	Rezistor
C7	100n	C-EUC0603	Kondenzátor - keramicky
C9	100nF	C-EUC0603K	Kondenzátor - keramicky
C2, C6, C11, C12	100nF	C-KER_0805	Kondenzátor - keramicky
C3, C5	100nF	C-KER_1206	Kondenzátor - keramicky
R10, R11	10R	R_1206	Rezistor
C4	10TPB33M	10TPB33M	Kondenzátor - elektrolytický
R16	10k	R_0805	Rezistor
R13	120R	R_1206	Rezistor
C10, C13	1u/10	C-EUC3216	Kondenzátor - keramicky
C8	220uF	C-EL_2,5	Kondenzátor - elektrolytický
L1	33 uH	PM1812-330J	Cívka
R8	36k	R_0805	Rezistor
C1	4u7	C-KER_1206	Kondenzátor - keramicky
R17	510R	R_0805	Rezistor
R6	560R	R_0805	Rezistor
R7	560R	R_1206	Rezistor
D1	SMF8.0A	SOD123F	Schottkyho dioda
R9	6k49	R_0805	Rezistor
R15	750R	R_0805	Rezistor
K1, K2, K3	CTB0709/2	CTB0709/2	Svorka
U2	LD1117	SOT-223	Napěťový stabilizátor
ZD1	LM4040	SOT-23	Napěťová reference
U1	LMR14006	SOT95-6N	Spínaný regulátor
JUM3, JUM6, JUM8	S1G2_JUMP	S1G2_JUMP	Řadový konektor
JUM4	S1G6_JUMP	S1G6_JUMP	Řadový konektor
JUM1, JUM2	S2G10_JUMP	S2G10_JUMP	Řadový konektor
JUM5	S2G2_JUMP	S2G2_JUMP	Řadový konektor
JUM7	S2G3_JUMP	S2G3_JUMP	Řadový konektor
IC1	SN65HVD485	SO08	Převodník UART RS485
U3	STM32F051C8T6	LQFP48	Mikroprocesor

B.1 Schéma zapojení

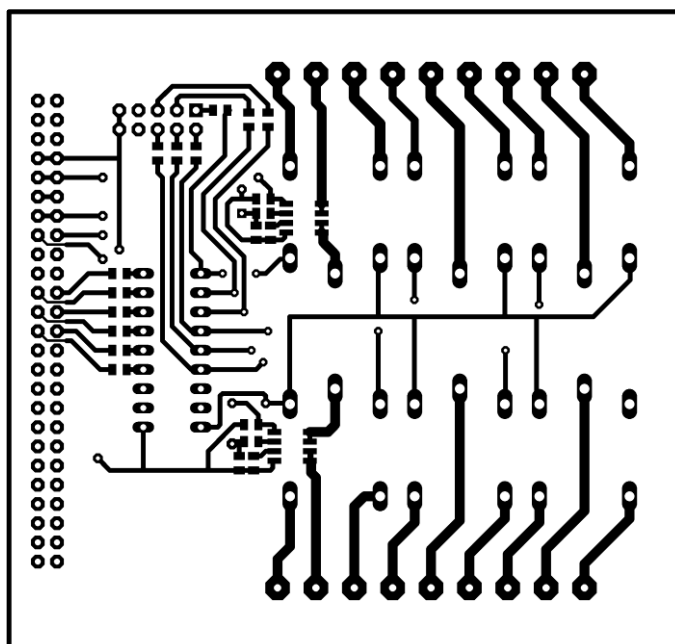


B.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



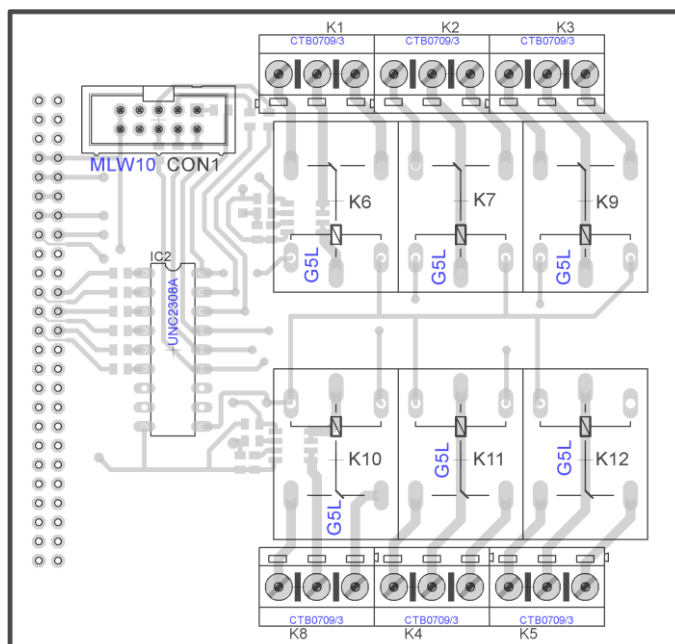
Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

B.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

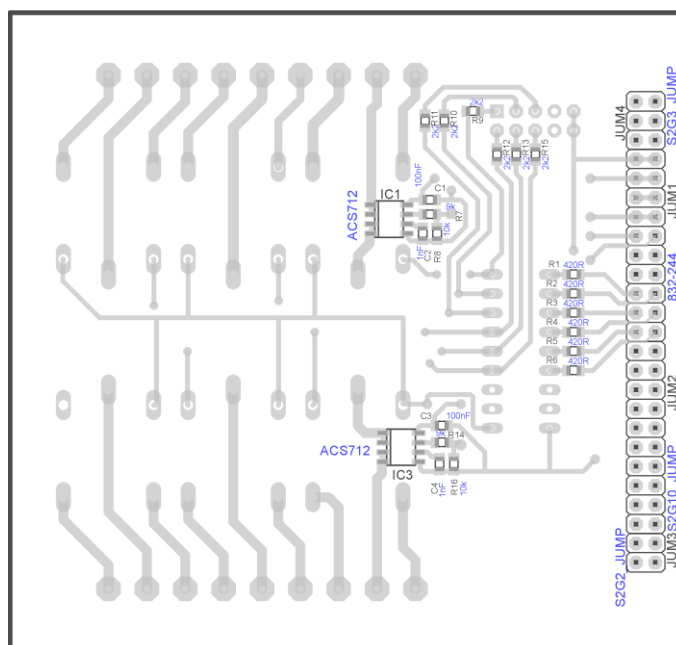


Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

B.4 Osazovací plán – top (strana součástek)



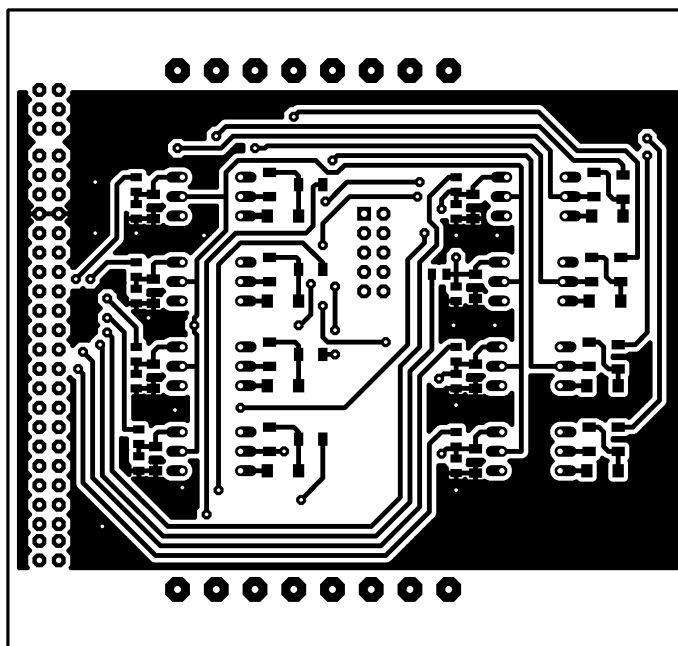
B.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů)



B.6 Seznam součástek

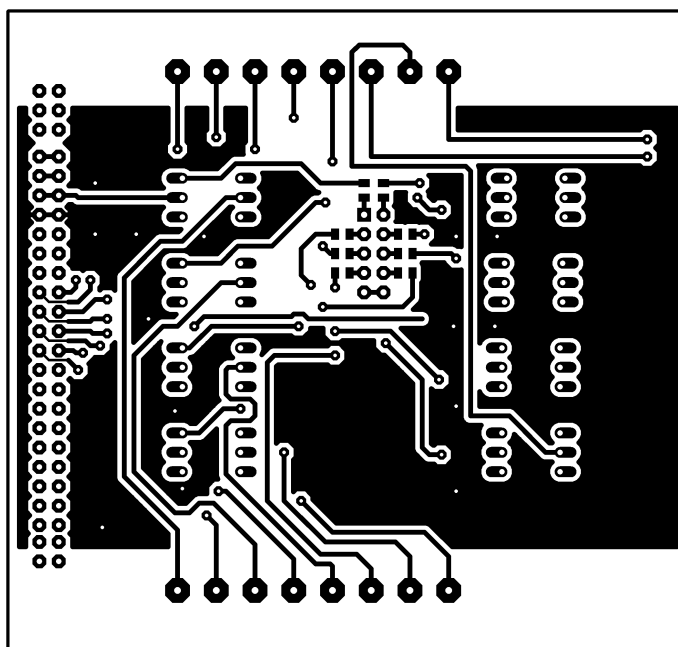
Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1, C3	100nF	C-KER_0805	Kondenzátor - keramický
R8, R16	10k	R_0805	Rezistor
C2, C4	1nF	C-KER_0805	Kondenzátor - keramický
R9, R10, R11, R12, R13, R15	2k2	R_0805	Rezistor
R1, R2, R3, R4, R5, R6	420R	R_0805	Rezistor
JUM1	832-244	S2G10_JUMP	Řadový konektor
R7, R14	9k	R_0805	Rezistor
IC1, IC3	ACS712	SO08	Snímač proudu
K1, K2, K3, K4, K5, K8	CTB0709/3	CTB0709/3	Svorka
K6, K7, K9, K10, K11, K12	G5L	G5L	RELAY
CON1	MLW10	MLW10	Konektory MLW - vidlice - 10x
JUM2	S2G10_JUMP	S2G10_JUMP	Řadový konektor
JUM3	S2G2_JUMP	S2G2_JUMP	Řadový konektor
JUM4	S2G3_JUMP	S2G3_JUMP	Řadový konektor
IC2	UNC2308A	DIL18	Tranzistorové pole

C.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



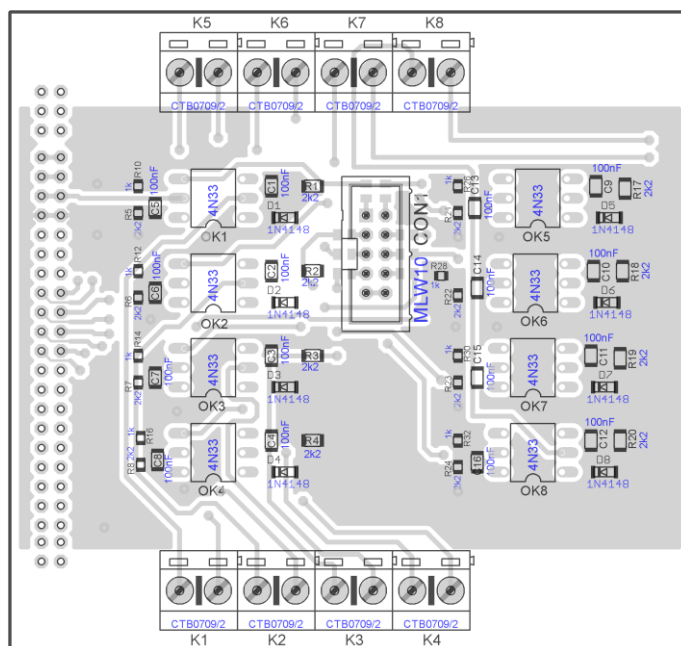
Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

C.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

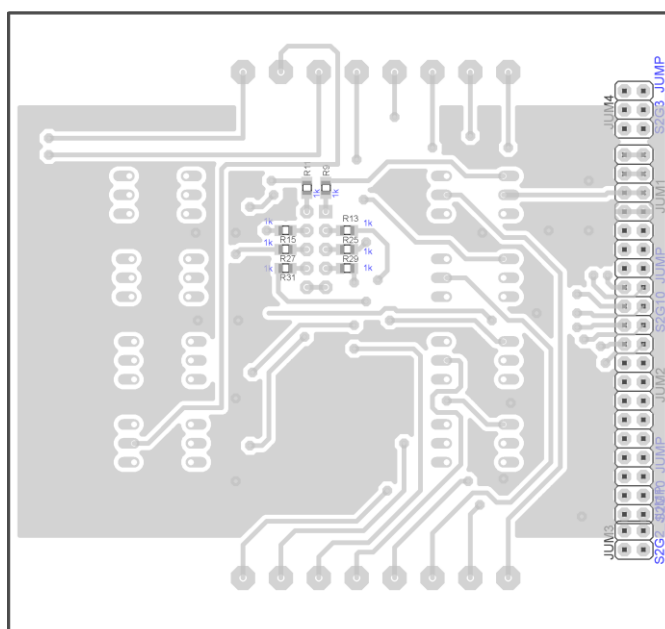


Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

C.4 Osazovací plán – top (strana součástek)



C.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů)

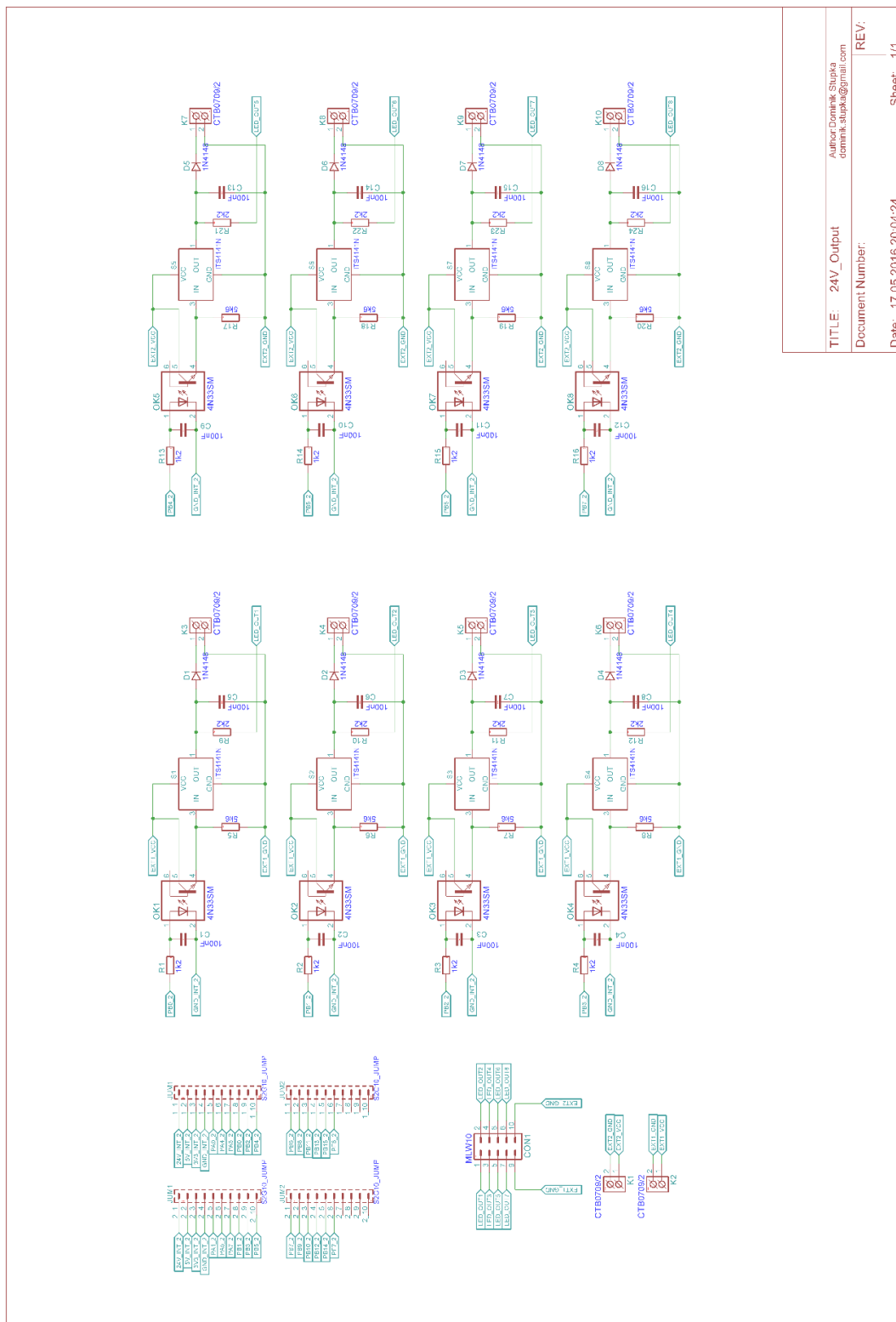


C.6 Seznam součástek

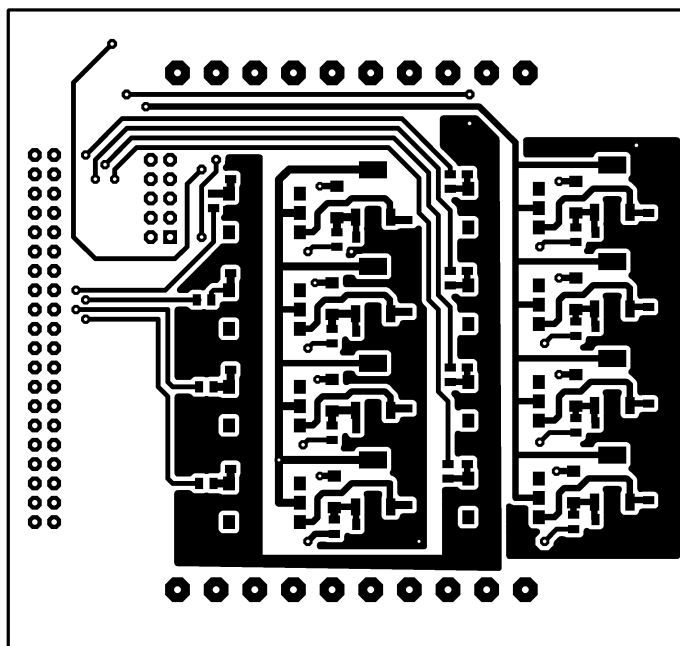
Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16	100nF	C-KER_1206	Kondenzátor - keramický
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	1N4148	D_SOD-80	Dioda - univerzální
R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32	1k	R_0805	Rezistor
R5, R6, R7, R8, R21, R22, R23, R24	2k2	R_0805	Rezistor
R1, R2, R3, R4, R17, R18, R19, R20	2k2	R_1206	Rezistor
OK1, OK2, OK3, OK4, OK5, OK6, OK7, OK8	4N33	DIL06	Optočlen
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8	CTB0709/2	CTB0709/2	Svorka
CON1	MLW10	MLW10	Konektory MLW - vidlice - 10x
JUM1, JUM2	S2G10_JUMP	S2G10_JUMP	Řadový konektor
JUM3	S2G2_JUMP	S2G2_JUMP	Řadový konektor
JUM4	S2G3_JUMP	S2G3_JUMP	Řadový konektor

D DESKA DIGITÁLNÍCH VÝSTUPŮ 24 V

D.1 Schéma zapojení

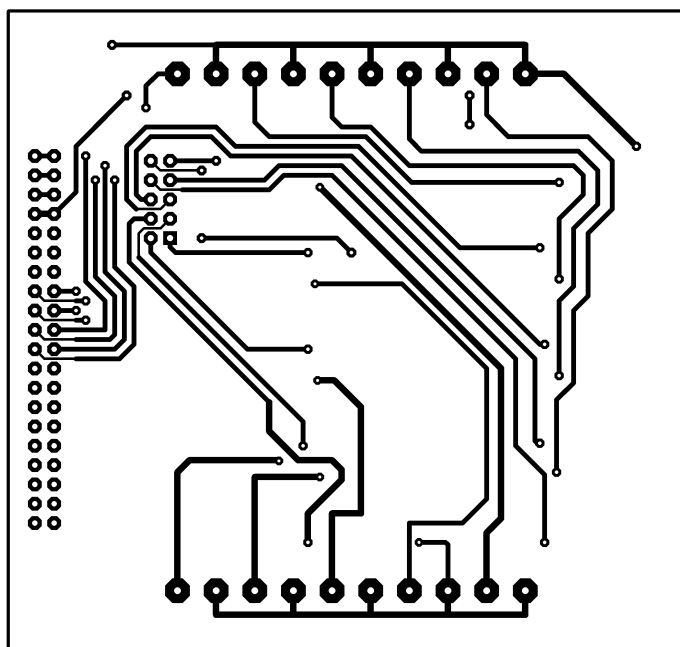


D.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



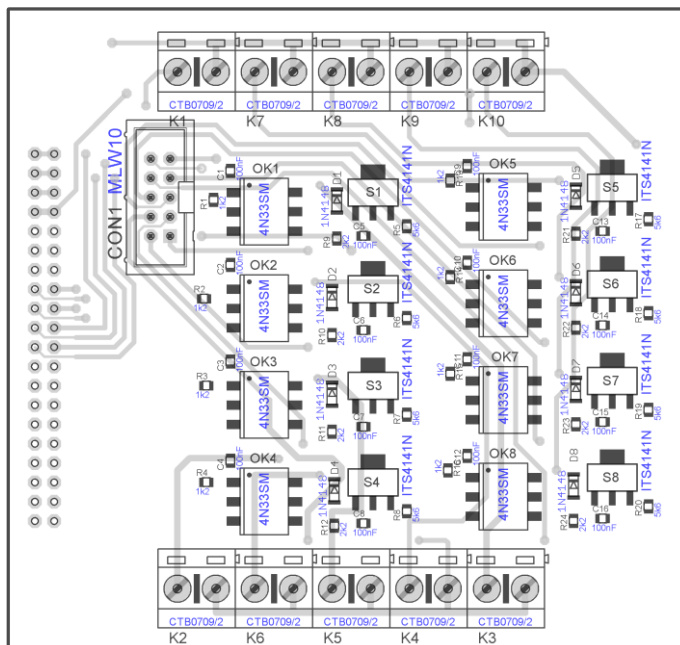
Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

D.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

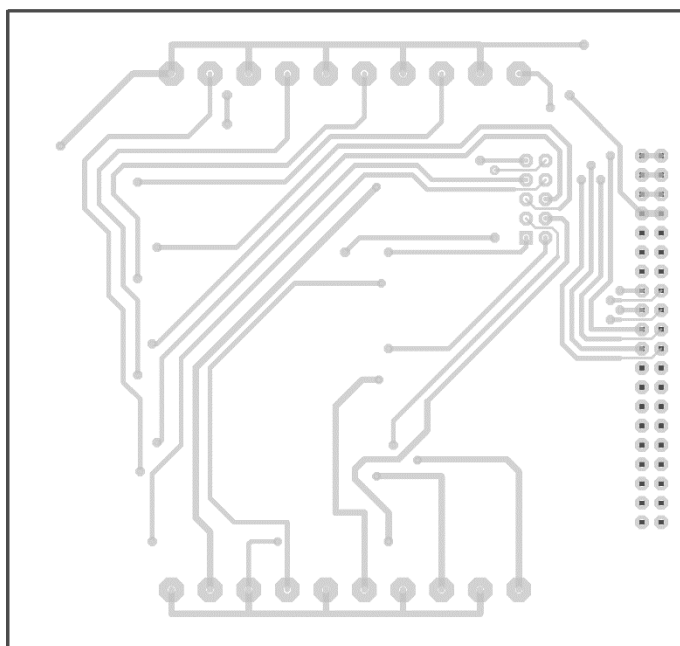


Rozměr desky 88 x 85 [mm], měřítko M1:1

D.4 Osazovací plán – top (strana součástek)



D.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů)

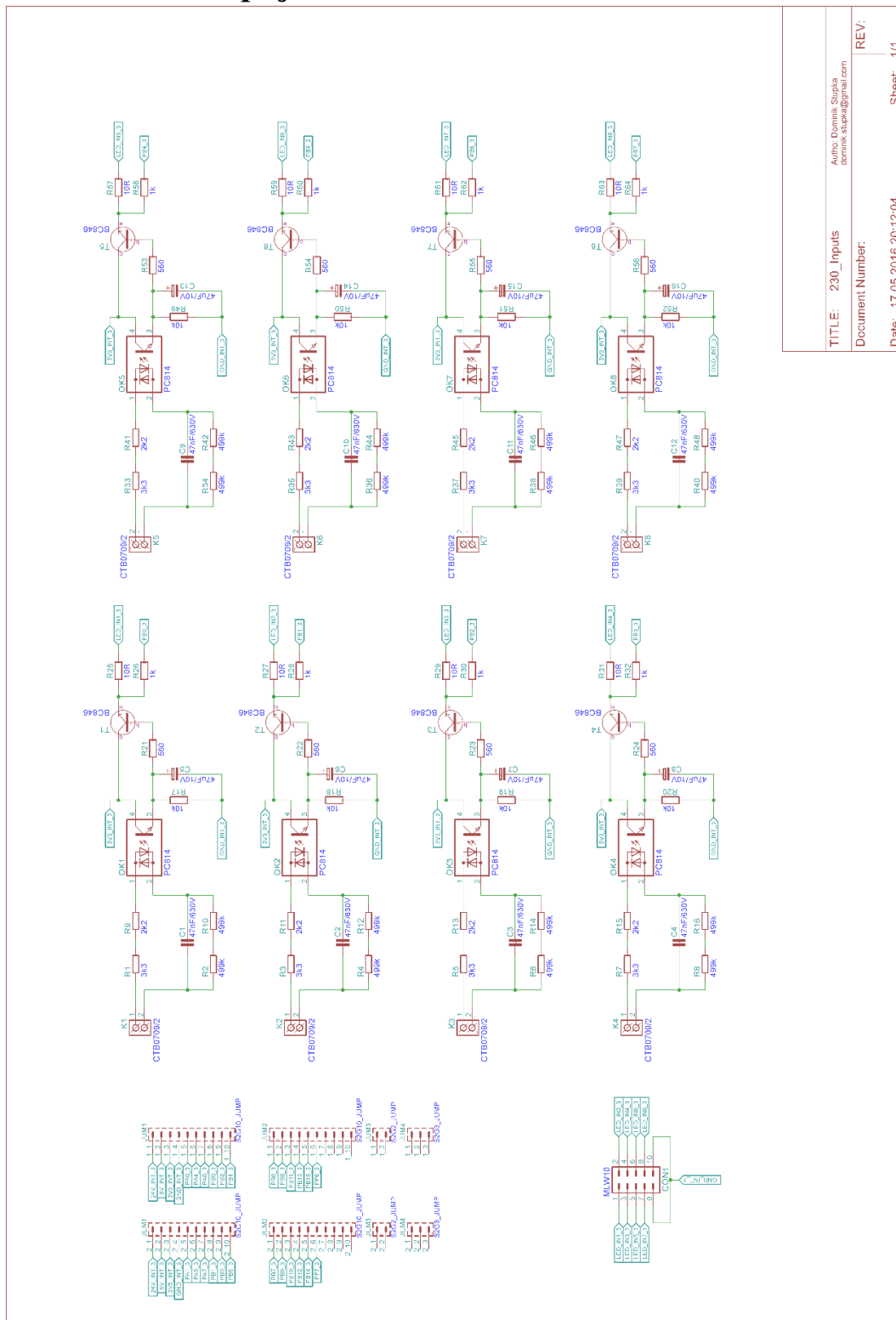


D.6 Seznam součástek

Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16	100nF	C-KER_0805	Kondenzátor - keramicky
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8	1N4148	SOD-80	Dioda - univerzální
R1, R2, R3, R4, R13, R14, R15, R16	1k2	R_0805	Rezistor
R9, R10, R11, R12, R21, R22, R23, R24	2k2	R_0805	Rezistor
OK1, OK2, OK3, OK4, OK5, OK6, OK7, OK8	4N33SM	DIL6-SMD	Optočlen
R5, R6, R7, R8, R17, R18, R19, R20	5k6	R_0805	Rezistor
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10	CTB0709/2	CTB0709/2	Svorka
S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8	ITS4141N	ITS4141N	Výkonový spínač
CON1	MLW10	MLW10	Řadový konektor
JUM1, JUM2	S2G10_JUMP	S2G10_JUMP	Řadový konektor

E DESKA VSTUPŮ 230 V

E.1 Schéma zapojení



TITLE: 230_Inputs

Auto: Dominik Šupla
dominik.supla@gmail.com

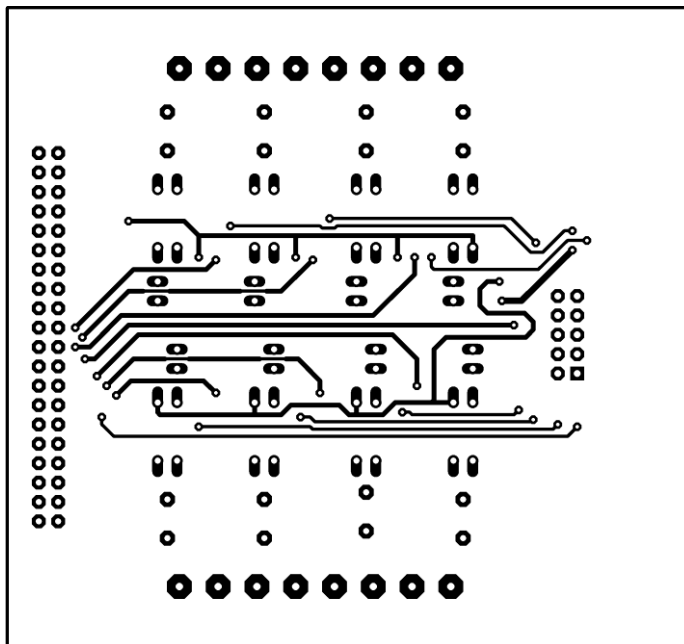
Document Number:

REV:

Date: 17.05.2016 20:12:04

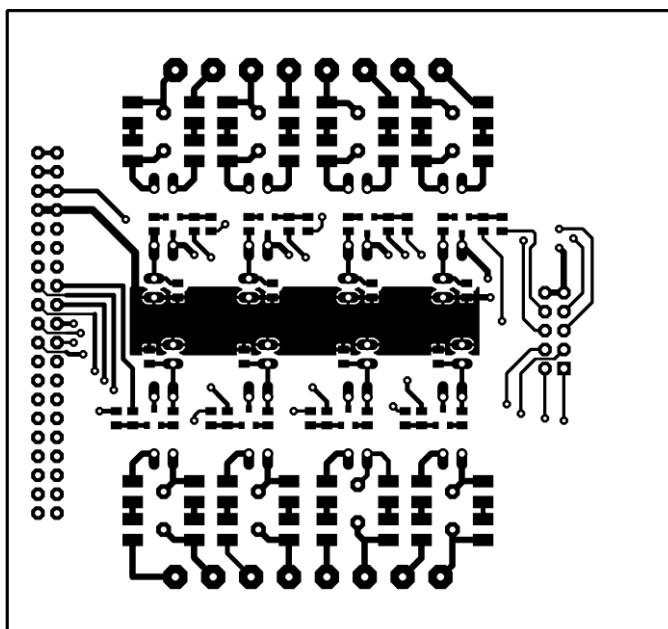
Sheet: 1/1

E.2 Deska plošného spoje– top (strana součástek)



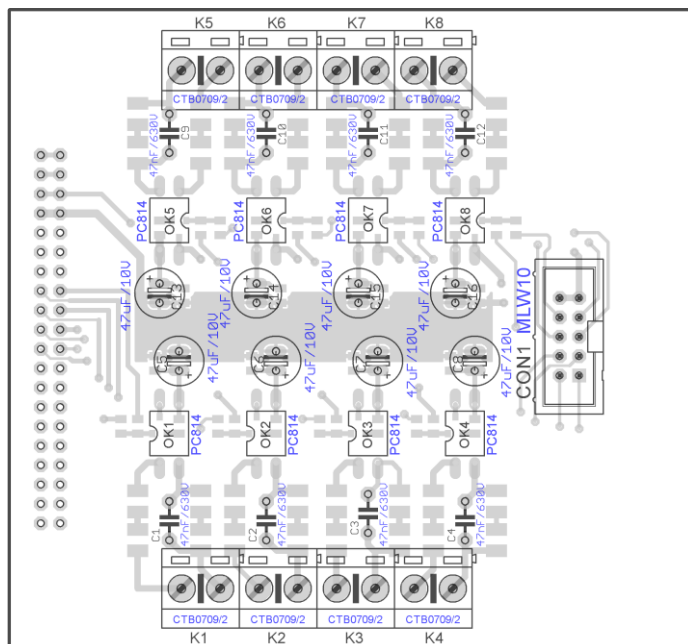
Rozměr desky 88 x 83 [mm], měřítko M1:1

E.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

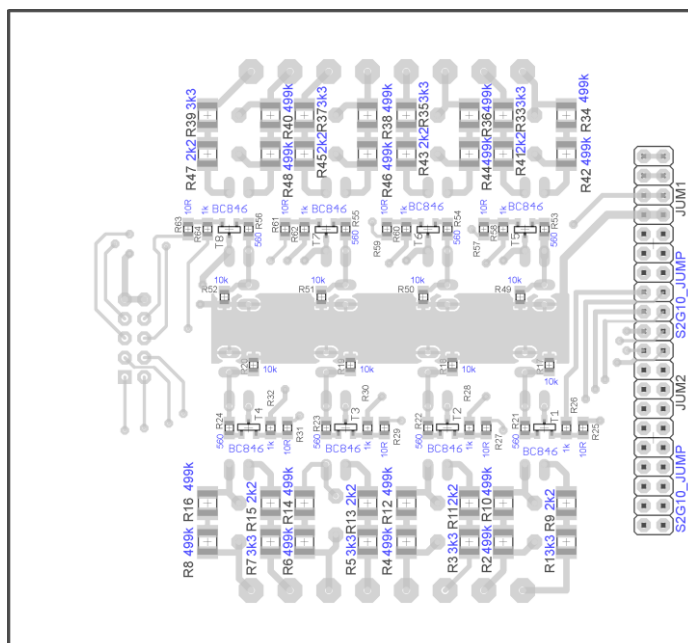


Rozměr desky 88 x 83 [mm], měřítko M1:1

E.4 Osazovací plán desky – top (strana součástek)



E.5 Osazovací plán desky – bottom (strana spojů)

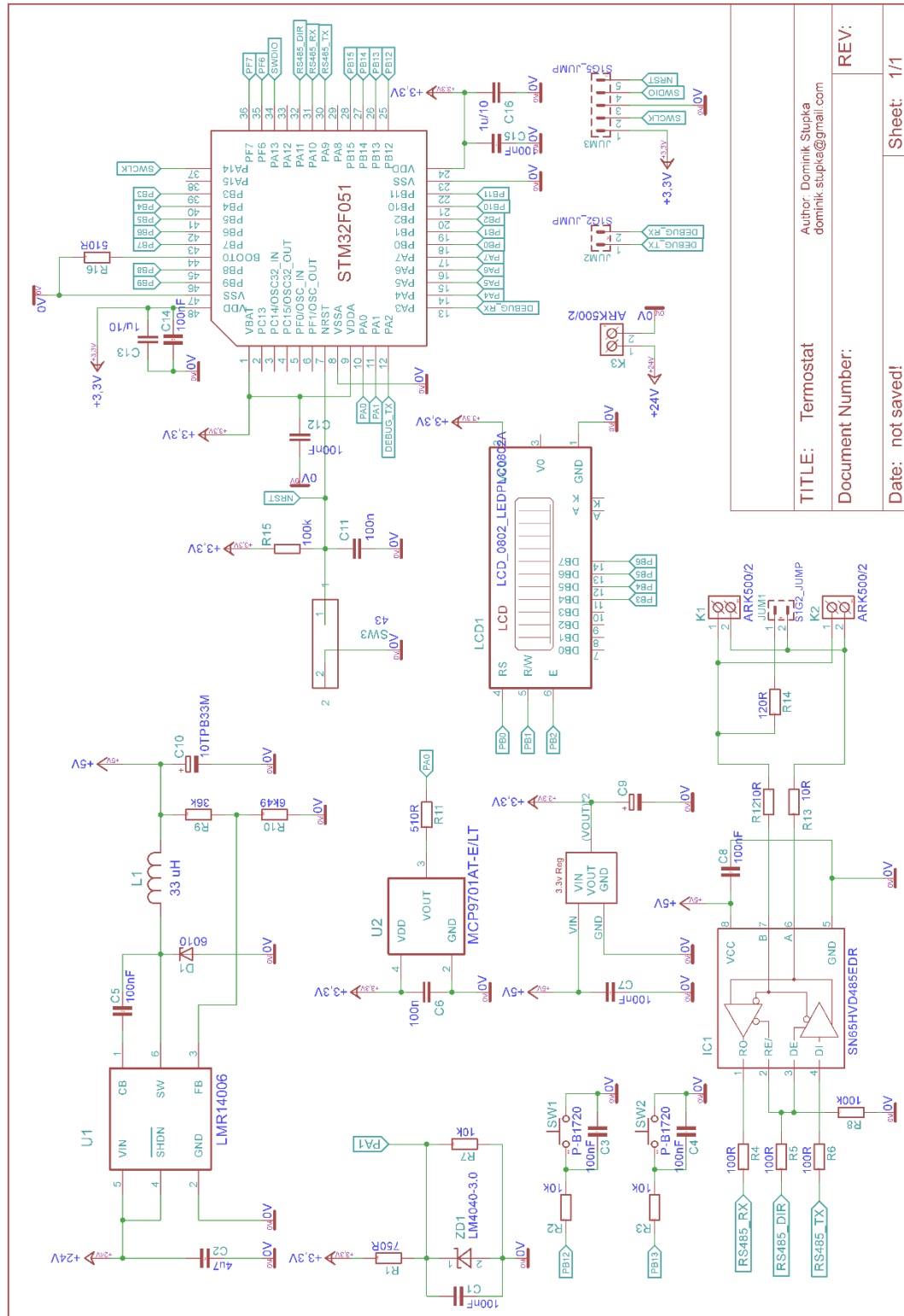


E.6 Seznam součástek

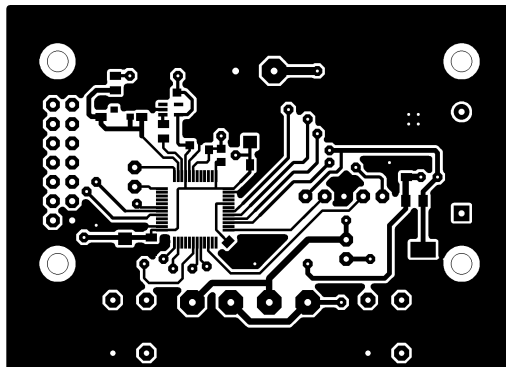
Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
R25, R27, R29, R31, R57, R59, R61, R63	10R	R_0805	Rezistor
R17, R18, R19, R20, R49, R50, R51, R52	10k	R_0805	Rezistor
R26, R28, R30, R32, R58, R60, R62, R64	1k	R_0805	Rezistor
R9, R11, R13, R15, R41, R43, R45, R47	2k2	R-EU_R1210	Rezistor
R1, R3, R5, R7, R33, R35, R37, R39	3k3	R-EU_R1210	Rezistor
C1, C2, C3, C4, C9, C10, C11, C12	47nF/630V	C-KER_5	Kondenzátor - keramicky
C5, C6, C7, C8, C13, C14, C15, C16	47uF/10V	C-EL_2,5	Kondenzátor - elektrolytický
R2, R4, R6, R8, R10, R12, R14, R16, R34, R36, R38, R40, R42, R44, R46, R48	499k	R-EU_R1210	Rezistor
R21, R22, R23, R24, R53, R54, R55, R56	560R	R_0805	Rezistor
T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8	BC846	SOT-23	Tranzistor
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8	CTB0709/2	CTB0709/2	Svorka
CON1	MLW10	MLW10	Konektory MLW - vidlice - 10x
OK1, OK2, OK3, OK4, OK5, OK6, OK7, OK8	PC814	PC814	Optočlen
JUM1, JUM2	S2G10_JUMP	S2G10_JUMP	Řadový konektor

F DESKA TERMOSTATU

F.1 Schéma zapojení

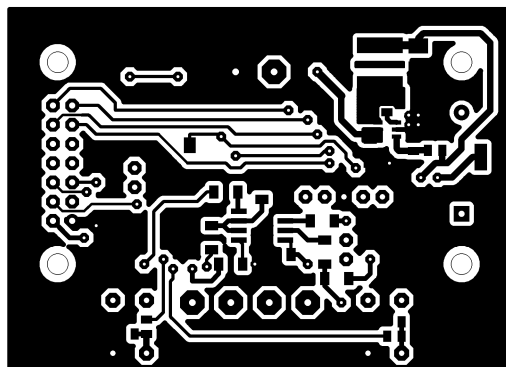


F.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



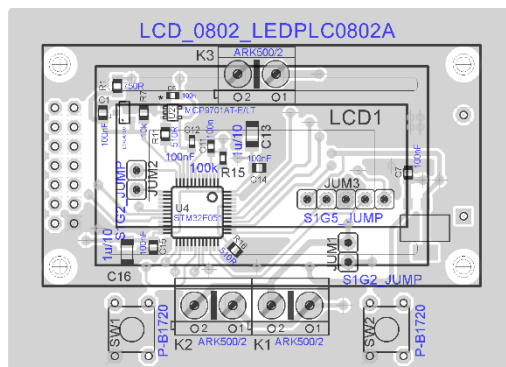
Rozměr desky 67 x 48 [mm], měřítko M1:1

F.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)

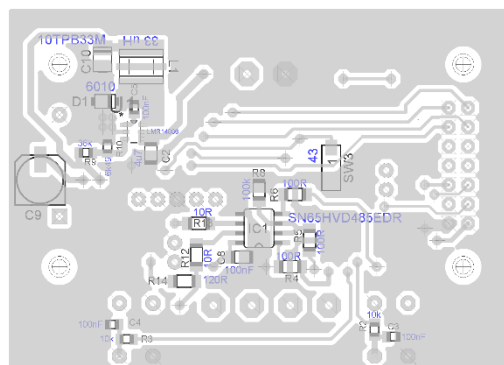


Rozměr desky 67 x 48 [mm], měřítko M1:1

F.4 Osazovací plán – top (strana součástek)



F.5 Osazovací plán – bottom (strana spojů)



F.6 Seznam součástek

Označení ve schématu	Hodnota	Pouzdro	Popis
R4, R5, R6	100R	R_1206	Rezistor
R15	100k	R-EU_R0603	Rezistor
R8	100k	R_1206	Rezistor
C6, C11	100n	C-EUC0603	Kondenzátor - keramicky
C12	100nF	C-EUC0603K	Kondenzátor - keramicky
C1, C3, C4, C5, C7, C14, C15	100nF	C-KER_0805	Kondenzátor - keramicky
C8	100nF	C-KER_1206	Kondenzátor - keramicky
R12, R13	10R	R_1206	Rezistor
C10	10TPB33M	3528-12R	Kondenzátor - elektrolyticky
R2, R3, R7	10k	R_0805	Rezistor
R14	120R	R_1206	Rezistor
C13, C16	1u/10	C-EUC3216	Kondenzátor - keramicky
L1	33 uH	PM1812-330J-RC	INDUCTOR
R9	36k	R_0805	Rezistor
C2	4u7	C-KER_1206	Kondenzátor - keramicky
R11, R16	510R	R_0805	Rezistor
D1	SMF8.0A	SOD123F	Schottkyho dioda
R10	6k49	R_0805	Rezistor
R1	750R	R_0805	Rezistor
K1, K2, K3	ARK500/2	ARK500/2	Svorkovnice
LCD1	LCD_0802	PLC0802AW	LCD - 2x8 + LED
U3	LD1117	SOT-223	Napět'ový stabilizátor
ZD1	LM4040-3.0	SOT-23	Napět'ová reference
U1	LMR14006	SOT95-6N	Spínaný regulátor
U2	MCP9701AT	SOT65-5N	Snímač teploty
SW1, SW2	P-B1720		u-tlačítko
JUM1, JUM2	S1G2_JUMP	S1G2_JUMP	Řadový konektor
JUM3	S1G5_JUMP	S1G5_JUMP	Řadový konektor
IC1	SN65HVD485	SOD -8	Převodník UART RS485
U4	STM32F051	STM32F051	Mikroprocesor